Mh. Appl.
120 F in 4°

F. J. v. Gerstner

Kupfer 39 fol.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

<36600514430011

<36600514430011

Bayer. Staatsbibliothek

Handbuch der Mechanik

von

Franz Joseph Ritter von Gerstner,

k. k. Gubernialrath, Ritter des k. k. österreichischen Leopoldordens, Direktor des technischen Institutes zu Prag, Professor der Mechanik, emeritirtem Direktor der physischen und mathematischen Studien an der Universität, em. k. k. Landeswasserbaudirektor, und emeritirtem Professor der höhern Mathematik und Astronomie, Mitglied mehrerer gelehrten Gesellschaften,

aufgesetzt, mit Beiträgen von neuern englischen Konstrukzionen vermehrt und herausgegeben

von

Franz Anton Ritter von Gerstner.

Zweiter Band.

Mechanik flüssiger Körper.

Mit 28 Kupfertafeln,
die in einem besondern Hefte beiliegen.

Prag.

Gedruckt bei *Johann Spurny*, Buchdrucker und Schriftgiesser.

1832.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Vorrede.

Das wissenschaftliche Publikum erhält hiermit den zweiten Band des Handbuches der Mechanik, welcher die Lehre von flüssigen Körpern begreift. Bei der Redakzion dieses Bandes wurde derselbe Zweck wie bei dem ersten verfolgt, nämlich eine technische, auf die Anwendung für Künste und Gewerbe berechnete Darstellung der mechanischen Grundsätze zu liefern und das Ganze auf eine vollkommen deutliche und fassliche Art abzuhandeln. Diess Werk soll nicht bloss ein Hilfsbuch für jene seyn, welche die Kollegien besuchen, sondern auch diejenigen, welche Kenntnisse der Elementarmathematik besitzen, jedoch keine öffentlichen Vorlesungen hören können, in die Lage setzen, dasselbe zum Selbststudium zu benützen. Weil jedoch mehrere Gegenstände nur mit Hilfe der höheren Analysis behandelt werden können, so wurden solche Rechnungen, wie es auch bei dem ersten Bande der Fall war, in Noten unter dem Texte beigesetzt, die Resultate derselben aber in den im Texte aufgenommenen Beispielen gehörig benützt.

Da der I. Band dieses Werkes mit so ehrenvollem Beifalle aufgenommen wurde, so darf man hoffen, dass dieser Band ein gleiches Interesse um so mehr verdienen möchte, da die Gegenstände desselben bei weitem schwieriger, als jene des vorigen sind. Sachkundige Leser dürften vorzüglich bei nachfolgenden Gegenständen eine bessere Aufklärung finden, als man sie bisher in den mechanischen Schriften angetroffen hat.

Die Bestimmung der spezifischen Schwere der Luft und des Gesetzes ihrer Abnahme auf Gebirgen, welches aus mehreren in Europa und Amerika angestellten barometrischen Messungen abgeleitet wurde, und die hiernach aufgestellte Theorie der Höhenmessungen mittelst Barometer und Thermometer-Beobachtungen, endlich die Anleitung zur Konstrukzion und dem Gebrauche des Manometers dürfte für den mathematischen Theil der Physik ein willkommener Beitrag seyn. Die Bewegung des Wassers innerhalb eines mit einer Oeffnung versehenen Gefässes, und die Bahn, auf welcher dasselbe zur Oeffnung gelangt, dann die Bewegung bei dem Austritte des

Wassers oder **ausserhalb der Oeffnung des Gefässes**, erscheint hier auf eine Art abgehandelt, wodurch dieser vielfältig besprochene, aber noch immer sehr schwierig befundene Gegenstand, eine neue Aufklärung erhält. Die Gesetze der **Bewegung und des Widerstandes in Röhrenleitungen** sind aus einfachen Betrachtungen abgeleitet, mit mehreren von *Bossut*, *du Buat* und *Couplet*, bei grossen Wasserleitungen angestellten Versuchen verglichen, und in so einfachen Formeln ausgedrückt, dass man hiervon in der Anwendung ohne eine schwierige Rechnung Gebrauch machen kann. Die Theorie des **hydrometrischen Pendels** und die Anleitung zu seinem Gebrauche wird diesem Instrumente bei solchen Messungen eine allgemeinere Anwendung gewähren. Die Bestimmung der **Stauhöhe** und der **Staulinie** oder des Längenprofils für die Oberfläche fliessender Wässer gehörte bisher zu den schwierigsten Gegenständen der Hydraulik und erscheint hier auf eine befriedigende Art allgemein aufgelöst.

Für die praktische Mechanik ist die **Theorie der Wasserräder** von grosser Wichtigkeit, nachdem der grösste Theil unserer Maschinenwerke durch die Kraft des Wassers bewegt wird. Es ist demnach die Theorie der unterschlächtigen und der mittelschlächtigen Räder hier mit aller Ausführlichkeit behandelt worden. Die Theorie der unterschlächtigen Räder wurde mit den Erfahrungen von *Bossut* und *Smeaton* zusammen gehalten, und hierbei eine Uibereinstimmung bei den meisten von diesen, bereits vor 80 Jahren angestellten Versuchen dargethan, welche sehr befriedigend ist. So sehr man gewunschen hat, die Theorie der oberschlächtigen Räder mit einigen Erfahrungen anderer Schriftsteller zu vergleichen, so war man diess nicht im Stande, nachdem bei den bisher bekannt gemachten Versuchen über oberschlächtige Räder gewöhnlich mehrere Elemente fehlen, die zu einer genauen Vergleichung mit der vorgetragenen Lehre erfordert werden. Inzwischen dürfte die aufgestellte Theorie wohl alle Rücksichten erschöpfen, welche bei der Behandlung dieses schwierigen Gegenstandes zu nehmen sind. Die berechneten Tabellen und die Anleitung zu ihrem Gebrauche werden Jedermann in die Lage setzen, solche Räder zweckmässig auszuführen und die zu bewirkende Arbeit in vorhinein anzuschlagen.

Das letzte Kapitel enthält die Theorie des **Widerstandes, welchen feste Körper bei ihrer Bewegung in flüssigen finden.** Hierbei ist zuerst der freie Fall und senkrechte Wurf der Körper, dann aber die Bahn schiefgeworfener Körper im widerstehenden Mittel berechnet, und dieser schwierige analytische Gegenstand auf eine solche Art durchgeführt, dass man in allen Fällen im Stande ist, die Bahn der Körper genau zu bestimmen.

Man hat sich bemüht, dem Gegenstande des II. Bandes eben so mannigfaltige Anwendungen, wie dem I. Bande beizufügen. Da die Anlage der **Wasserleitungen** häufig vorkommt, so wurde dieselbe mit allem Detail durchgeführt und zugleich eine

kurze Beschreibung der Wasserleitungen von *Prag, Paris* und einigen englischen Städten gegeben. Die Anlage der unterschlächtigen Getreidemahlmühlen und der oberschlächtigen Bretsägen wurde ebenfalls aufgenommen, und so behandelt, dass wohl Jedermann eine solche Anlage darnach zweckmässig auszuführen in Stand gesetzt ist. Es ist zu bedauern, dass in den meisten Schriften über den Mühlenbau entweder gar keine oder unzuverlässige Erfahrungen über die Grösse der Kraft angeführt sind, welche zur Bewirkung einer bestimmten Arbeit, z. B. zum Mahlen von 100 Pfund Korn oder zum Sägen von 100 Quad. Fuss Flächeninhalt, erfordert wird. Es ist zu hoffen, dass andere Schriftsteller auf der Grundlage der vorgetragenen Theorie mehr Erfahrungen anstellen, und zum allgemeinen Gebrauche mittheilen werden.

Endlich ist dem letzten Kapitel eine Darstellung der Kanalschiffahrt in England beigefügt, welche auf ähnliche Art, wie die Beschreibung der Eisenbahnen im I. Bande verfasst, unseren Lesern ein deutliches Bild von dem Zustande der Wasserkommunikazionen in England geben wird. Man wird sich aus dem sehr bedeutenden Verkehre, welcher von mehreren Kanälen angeführt wurde, überzeugen, dass der grosse Gewinn, der bei mehreren solchen Kanalunternehmungen noch immer Statt findet, lediglich der grossen Masse der transportirten Güter, welche auf dem *Birmingham*-Kanale bis zu dreissig Millionen Zentnern jährlich steigt, zuzuschreiben ist. Wo eine solche Lebhaftigkeit des Verkehres Statt findet, dort wird immer die Anlage eines noch so kostspieligen Kanales lohnen. Für Deutschland aber, wo der Verkehr weit geringer ist, kann das Bild der englischen Kanäle keineswegs als Muster dienen; hier müssen lediglich die nach den Lokalumständen verfassten Uiberschläge der Bauauslagen und des mit Sicherheit zu erwartenden Gewinnes entscheiden, ob man sich zur Anlage eines Kanales oder einer Eisenbahn oder auch nur einer Landstrasse zu entschliessen habe. Wir können keineswegs der so häufig ausgesprochenen Meinung, man solle nur Kanäle und Eisenbahnen bauen und der Verkehr werde sich gewiss finden, — unbedingt beitreten; bei erleichterter Kommunikazion und wohlfeileren Transportmitteln werden zwar immer mehr Gegenstände, als es früher der Fall war, geführt, allein diese Hoffnung auf Vermehrung des Frachtquantums muss immer sehr wohl überlegt und begründet werden, wenn selbe die Bedingung der Anlage einer neuen Kommunikazion ist, die durch Private ausgeführt werden soll. Andere Rücksichten können bei den Unternehmungen des Staates eintreten, und Entschädigungen der Baukosten gewähren, auf welche der Privatmann nicht rechnen kann.

Mehrere Berechnungen und Tabellen, welche in diesem Bande vorkommen, waren sehr schwierig zu bearbeiten; inzwischen ist hierbei dieselbe Sorgfalt und der Fleiss wie im ersten Bande verwendet worden, und es dürfte kein erheblicher Fehler aufzuweisen seyn. Die wenigen im Drucke entstandenen Fehler sind am Ende des Werkes beigefügt. Bei der Verfertigung der Zeichnungen für die Kupfertafeln wurde immer der

Zweck vor Augen gehalten, Jedermann in die Lage zu setzen, die dargestellten Maschinen mit Hilfe der Beschreibungen erbauen zu können. Die Korrektheit der Kupfertafeln dürfte sich bei ihrer Prüfung bewähren.

Da die Herausgabe dieses kostspieligen Werkes keine besondere Unterstützung geniesst, so hängt dessen baldige Beendigung und seine grössere Ausdehnung lediglich von der Theilnahme des wissenschaftlichen Publikums ab. Den früheren Anzeigen zu Folge soll das ganze Werk 200 Druckbogen und 100 Kupfertafeln, von gleicher Grösse wie die bisher erschienenen, erhalten. Da nun der erste Band 86 Bogen mit 40 Tafeln, und dieser 70 Bogen nebst 28 Tafeln enthält, so wären nur noch 44 Bogen und 32 Kupfertafeln zu liefern. Dass aber eine ausführliche Behandlung der vorzüglichen bei dem Bau-, Hütten- und Fabrikswesen, der Land- und Forstwissenschaft vorkommenden Maschinen einen weit grösseren Raum erfordert, wird Jedermann einsehen.

Das komplete Verzeichniss der Herren Pränumeranten wird dem dritten Bande vorgedruckt, nachdem vorzüglich die Buchhandlungen im Auslande mit der Angabe der Pränumerazionen noch im Rückstande sind.

Im Falle eine Uibersetzung dieses Werkes in die französische oder englische Sprache gewunschen werden sollte, behalte ich mir vor, dieselbe zu besorgen, und dann nicht nur den Text nach den Maassen und Gewichten jener Länder umzuarbeiten, sondern denselben auch mit jenen Beiträgen und Erfahrungen zu bereichern, welche bis dahin gemacht werden. Uiberdiess würde auch die ganze Auflage des Werkes den Bedürfnissen von Frankreich oder England entsprechend bearbeitet werden müssen, um dort eine ähnliche Aufnahme zu finden, welche demselben in Deutschland zu Theil wurde. Ich finde mich zu dieser Erklärung desshalb veranlasst, weil die Abhandlung meines Vaters über Frachtwägen und Strassen im Jahre 1827 und meine Abhandlung über die Vortheile der Anlage einer Eisenbahn zwischen der Moldau und Donau im Jahre 1829 in *Paris* übersetzt erschien, jedoch durch diese blossen Uibersetzungen, abgesehen von den vielen eingetretenen Unrichtigkeiten, weder dem ursprünglichen Zwecke der Verfasser, noch den Bedürfnissen in jenem Lande genügend entsprochen wurde.

Prag den 31ten März 1832.

F. Anton R. v. Gerstner.

Inhalt des zweiten Bandes.

Einleitung.

§. 1. Begriff der flüssigen Körper. Vollkommen und unvollkommen flüssige Körper. — §. 2. Eintheilung der flüssigen Körper in elastische und unelastische. — §. 3. Eintheilung der Mechanik flüssiger Körper.

I. Kapitel.

Hydrostatik.

§. 4. Erklärung der Hydrostatik. — Gleichgewicht der Theile unelastischer Flüssigkeiten, in so fern sie bloss als flüssig betrachtet werden. — §. 5. Der Druck der Flüssigkeiten ist ohne Rücksicht auf ihre Schwere der Grösse der gedrückten Flächen proporzional. — §. 6. Anwendung hiervon auf die hydrostatische Presse des *Bramah*. Beispiel. — §. 7. Gleichgewicht unelastischer Flüssigkeiten mit Rücksicht auf ihre Schwere. — §. 8. Gewicht eines N. Oe. Kubikfusses reinen Wassers. Druck des Wassers auf die Bodenflächen verschiedenartiger Gefässe. — §. 9. Kommunizirende Röhren. Anwendung auf *Wolf's* anatomischen Heber und die *Real'*sche Filtrir- oder Auflösungspresse. — §. 10 und 11. Druck des Wassers auf eine senkrechte Seitenwand. — §. 12. Druck des Wassers auf einen Theil einer vertikalen Fläche. — §. 13. Winkelrechter Druck des Wassers auf eine schief stehende Seitenwand. — §. 14. Dasselbe auf eine Oeffnung in einer schiefen Seitenwand. — §. 15. Bemerkungen über den winkelrechten Druck des Wassers gegen Seitenflächen. — §. 16. Horizontaler und senkrechter Druck des Wassers auf schief stehende Wände. — §. 17. Anwendung auf die Bestimmung der Stärke der Schützen. — §. 18. Berechnung der erforderlichen Kraft zum Aufzuge einer Schütze. — §. 19. Bestimmung der Stärke der Wasserröhren. — §. 20. Stärke bleierner Röhren nach der Theorie und Erfahrung. — §. 21. Dieselbe Bestimmung für gusseiserne Röhren. — §. 22. Stärke der Röhren von Blech, Stein und Holz. — §. 23. Berechnung des Gewichtes der Röhren.

§. 24. Gesetz bei dem Eintauchen fester Körper in flüssige. Hydrostatische Wage. — §. 25. Fälle, welche bei dem Eintauchen fester Körper im Wasser vorkommen können. Anwendung hiervon, um grosse Lasten mittelst Schiffen aus dem Grunde des Meeres oder der Flüsse zu heben, gesunkene Brückenbögen zu erhöhen etc. — §. 26. Anwendung hiervon zur Bestimmung des Gewichtes fester oder des Kubikinhaltes irregulärer hohler Körper. — §. 27. Bestimmung des kubischen Inhaltes irregulärer solider Körper. Methode, verschiedene Körper durch Abwägen im Wasser von einander zu erkennen. — §. 28. Begriff der spezifischen Schwere und allgemeine Methode, dieselbe zu bestimmen. — §. 29. Erster Fall. Die spezifische Schwere eines festen Körpers, welcher schwerer als Wasser ist, und von demselben nicht aufgelöst wird, zu bestimmen. — §. 30. Zweiter Fall. Bestimmung der spezifischen Schwere von Körpern, die in körnigter Gestalt oder in Pulverform vorkommen. — §. 31. Dritter Fall. Dieselbe Bestimmung mit Ausschluss der in den Körpern befindlichen Luft. — §. 32. Vierter Fall. Untersuchung der spezifischen Schwere fester Körper, welche leichter als Wasser sind und demnach auf demselben schwimmen. — §. 33. Fünfter Fall. Bestimmung der spezifischen Schwere fester Körper, welche das Wasser einsaugen. — §. 34. Sechster Fall. Dieselbe Bestimmung bei festen, im Wasser auflösbaren Körpern. — §. 35. Siebenter Fall. Bestimmung der spezifischen Schwere der Flüssigkeiten. — §. 36. Untersuchung der spezifischen Schwere der Hölzer. — §. 37. Erklärung der Aräometer. — §. 38. Berechnung der Skale eines Aräometers für spezifisch leichtere Flüssigkeiten als Wasser. §. 39. Beispiele hierüber. — §. 40. Dieselbe Berechnung für spezifisch schwerere Flüssigkeiten als Wasser. Beispiele. — §. 41. Sool- oder Salzwagen. Eintheilung ihrer Skalen. — §. 42. Tabelle der spezifischen Schwere der vorzüglichsten Körper. — §. 43. Berechnung der Bestandtheile eines Gemisches zweier Metalle oder Problem des Archimedes. — §. 44. Neuere Erfahrungen über Metallmischungen. — §. 45. Bestimmung des Gesetzes bei den Legirungen von Zinn und Blei, nach den Erfahrungen des Herrn Prof. *Meissner* in Wien. — §. 46. Beispiele hierüber. — §. 47 und 48. Bestimmung des Gesetzes bei den Mischungen von Alkohol und Wasser nach den *Meissner'*schen Versuchen. — §. 49. Beispiele hierüber. §. 50. Redukzion der Gewichte der Körper auf den leeren Raum.

§. 51. Tiefe des Einsinkens unbeladener Schiffe. Beispiel. — §. 52. Erklärung und Berechnung der Aichskale für geradlinigte Schiffe. — §. 53. Aichskale bei krummlinigten Schiffen. — §. 54. Berechnung der Stabilität der Schiffe, welche mit geraden Flächen begränzt sind. Folgerungen aus dieser Rechnung. — §. 55. Beispiele über die Ladungsfähigkeit der Schiffe mit Hinsicht auf ihre Stabilität. — §. 56. Berechnung der Stabilität der Schiffe, welche mit krummen Flächen begränzt sind.

§. 57. Erklärung der verschiedenen Arten Brunnen. Artesische Brunnen in Frankreich, England, Amerika und andern Ländern. — §. 58. Artesische Brunnen in der Gegend bei Wien und Bestimmung jener Gegenden, wo sie in Böhmen mit Erfolg anzulegen wären.

II. Kapitel.

Aërostatik.

§. 59. Erklärung des Gegenstandes der Aërostatik.— §. 60. Grösse des Druckes der atmosphärischen Luft nach *Toricelli*. — §. 61. Kugelbarometer. — §. 62. Heberbarometer. Beurtheilung der bevorstehenden Witterung mittelst des Barometers. — §. 63. Verfertigung der Barometer. — §. 64. *Mariotte*'sches Gesetz über die Ausdehnung der Luft. — §. 65. Ausdehnung der Luft durch die Wärme. — §. 66. Thermometer, Bestimmung des Gefrier- und Siedepunktes, Luftthermometer, Quecksilberthermometer. Verschiedene Eintheilung der Skalen der Thermometer. — §. 67. Verfertigung der Quecksilberthermometer. — §. 68. Apparate zur Messung der Ausdehnung fester Körper durch die Wärme. — §. 69. Tabelle über die Längenausdehnung verschiedener fester Körper vom Gefrier- bis zum Siedepunkte. — §. 70. Ausdehnung tropfbar flüssiger Körper durch die Wärme. — §. 71. Bestimmung des Gesetzes der Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten. — §. 72. Dichtigkeit, Volumen und Gewicht des Wassers bei verschiedenen Temperaturen. — §. 73. Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme. — §. 74. Ausdehnung anderer tropfbarer Flüssigkeiten durch die Wärme. — §. 75. Aenderung der Hohlmaasse durch die Wärme.

§. 76. Allgemeine Bestimmung des Gewichtes der Luft mit Hinsicht auf den Barometer- und Thermometerstand. — §. 77. Berechnung des Verhältnisses des Gewichtes der Luft zum Quecksilber aus barometrischen Messungen der Hrn. Prof. *David* und *Hallaschka* zu Prag. — §. 78. Bemerkungen hierüber. — §. 79. Berechnung der spezifischen Schwere der Luft aus mehreren in Europa und Südamerika angestellten barometrischen Messungen. — §. 80. Ableitung eines Gesetzes für das Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber am Gebirge der *Cordilleren*. — §. 81. Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber nach mehreren barometrischen Beobachtungen von *de Luc* und andern Physikern. — §. 82. Spezifische Schwere der Luft nach Maassgabe der Höhe in Europa. — §. 83. Einfluss der Abnahme der allgemeinen Schwere auf die Dichtigkeit der Luft auf Gebirgen. — §. 84. Anwendung dieser Abhandlung über die spezifische Schwere der Luft bei den Höhenmessungen durch das Barometer. — §. 85. Beispiele hierüber. — §. 86. Genaue Bestimmung des Gewichtes von einem Kubikfuss Luft bei der Barometerhöhe von 28 pariser Zoll und der Temperatur des schmelzenden Schnees für jeden Ort der Erdoberfläche. — §. 87 und 88. Erklärung, Berechnung und Konstrukzion der Skale eines *Manometers*. — §. 89. Beispiel hierüber.

§. 90. Erklärung der Saug-, Druck- und vereinigten Saug- und Druckpumpen. — §. 91. Berechnung der Höhe, auf welche das Wasser nach jedem Hube steigt und der grössten Höhe, auf welche dasselbe durch das blosse Ansaugen gehoben werden kann, im Falle sich das Saugventil am unteren Ende des Saugrohres befindet. — §. 92. Dasselbe für den Fall, wenn das Ventil am oberen Ende des Saugrohres angebracht ist. — §. 93. Kraft zur Betreibung einer Saugpumpe ohne Rücksicht auf Widerstände. — §. 94. Dasselbe für eine Druckpumpe. — §. 95. Dasselbe für eine vereinigte Saug- und Druckpumpe. — §. 96. Konstrukzion der Kunstsätze in den Bergwerken. — §. 97. Konstrukzion der verschiedenen Ventile. — §. 98. Konstrukzion der Kolben für Saugwerke. — §. 99. Kolben für Druckwerke. — §. 100. Konstrukzion der *Bramah*'schen Wasserpresse.

III. Kapitel.

Freier Ausfluss des Wassers durch Oeffnungen.

§. 101. Ausfluss des Wassers durch Oeffnungen in den Wänden der Gefässe. — §. 102 und 103. Methoden, den Ausfluss des Wassers aus Oeffnungen zu messen. — §. 104. Bewegung des Wassers innerhalb eines Gefässes; Bahn, auf welcher das Wasser zur Oeffnung gelangt und Bewegung des Wassers ausserhalb der Oeffnung des Gefässes. — §. 105. Versuche von *Bossut* über den Ausfluss des Wassers aus Oeffnungen in einer dünnen Wand. — §. 106. Folgerung aus diesen und andern Versuchen. — §. 107. Versuche über den Ausfluss des Wassers aus kurzen Ansatzröhren. — §. 108. Versuche über die innerhalb einer Röhre stattfindende Zusammenziehung. — §. 109. Versuche über den Ausfluss aus konischen Röhren. — §. 110. Beispiele über den Ausfluss des Wassers durch kleine Oeffnungen. — §. 111. Ausfluss des Wassers in durchaus offenen Seitenöffnungen oder Wandeinschnitten eines Behälters, worin eine unveränderte Druckhöhe des Wassers Statt findet. — §. 112. Dasselbe für eine Seitenöffnung, deren oberer Theil geschlossen ist. — §. 113. Versuche über den Abfluss des Wassers in einem Mühlgerinne. — §. 114. Versuche über den Ausfluss des Wassers aus Schützenöffnungen. — §. 115. Grösse des Zusammenziehungskoeffizienten für die verschiedenen Fälle des Ausflusses. — §. 116. Verschiedene Beispiele hierüber.

§. 117. Ausfluss des Wassers durch kreisförmige oder elliptische Oeffnungen. — §. 118. Dasselbe für den Fall, wenn das Wasser nur durch einen Theil einer solchen Oeffnung ausfliesst. — §. 119. Ausfluss des Wassers aus Behältern, welche keinen Zufluss erhalten. — §. 120. Anwendung hiervon auf die Konstrukzion der Wasseruhren, das Ablassen der Teiche etc. — §. 121. Berechnung der Zeit, innerhalb welcher der Wasserspiegel in einem Gefässe um eine gegebene Tiefe sinkt. Beispiele. — §. 122. Ausfluss aus zwei, durch eine Scheidewand mit einander verbundenen Gefässen. — §. 123. Dasselbe, wenn mehrere oben offene Gefässe mitsammen durch Scheidewände verbunden sind. Anwendungen hiervon auf den Abfluss des Wassers in einem Thale, worin mehrere Teiche übereinander angelegt sind. — §. 124. Anwendung hiervon auf den Ausfluss des Wassers in Röhren. — §. 125. Erklärung der Kanalschiffahrt. — §. 126. Schleussung der Schiffe. — §. 127. Bestimmung der Zeit, in welcher eine Schleusse gefüllt und entleert wird.

IV. Kapitel.

Bewegung des Wassers in Röhren mit Rücksicht auf den Widerstand der Wände.

§. 128. Erklärung der Widerstände bei der Bewegung des Wassers in Röhren. — §. 129. Aufstellung der Gesetze für diese Widerstände in gerade fortgehenden Röhren. — §. 130. Folgerungen hieraus. — §. 131. Vorrichtungen, deren sich *Bossut* bei den Versuchen über die Widerstände des Wassers in Röhrenleitungen bediente. — §. 132. Versuche von *Couplet*, *Bossut*, *du Buat* und Ritter v. *Gerstner* (Vater) und Berechnung dieser Versuche nach der aufgestellten Theorie. — §. 133. Prüfung der aufgestellten Formel für die Widerstände des Wassers in Röhrenleitungen. — §. 134. Aufstellung einer allgemeinen Formel für die Bewegung des Wassers in Röhren als Resultat der Theorie und Er-

fahrung. — §. 135. Anwendung dieser Formel für Röhren von verschiedenem Durchmesser. — §. 136. Versuche über die Flüssigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen von Ritter v. *Gerstner* (Vater). — §. 137. Folgerungen hieraus. — §. 138 und 139. Berechnung dieser Versuche. — §. 140. Folgerungen hieraus. — §. 141 bis 143. Bemerkungen über die Röhrenwiderstände. — §. 144. Bewegung des Wassers in geneigten Röhren. — §. 145. Verschiedene Beispiele über Röhrenleitungen. — §. 146. Widerstand des Wassers in gebogenen Röhren. — §. 147. Versuche hierüber von *du Buat*. — §. 148. Berechnung der Dimensionen für eine Röhrenleitung, die eine bestimmte Wassermenge zu liefern hat. — §. 149. Versuche bei Röhrenleitungen von grossem Durchmesser und Uibereinstimmung derselben mit der aufgestellten Formel. — §. 150. Bewegung des Wassers aus einer weiteren Röhre in eine engere. — §. 151. Vertheilung des Wassers aus einer Hauptröhre in zwei Seitenröhren von gegebenem Durchmesser. — §. 152. Bestimmung der Durchmesser dieser Seitenröhren, wenn die auszufliessende Wassermenge gegeben ist. — §. 153. Gesetze für die Vertheilung des Wassers in mehrere Röhren, die aus einer Hauptröhre oder den Behälter Zufluss erhalten. — §. 154. Beispiel hierüber.

§. 155. Berechnung der Steighöhe des Wassers bei springenden Strahlen. — §. 156. Bestimmung der Sprunghöhe des Wassers bei verschiedenen Ausflussöffnungen. — §. 157. Bestimmung des Durchmessers der Zuleitungsröhre für eine gegebene Sprunghöhe und Ausflussöffnung. — §. 158. Berechnung der Widerstände des Wassers innerhalb eines konischen Gussrohres. — §. 159. Berechnung derselben Widerstände für ein Gussrohr nach der Krümmung der Zusammenziehung des Wassers. — §. 160. Anwendung auf Feuerspritzen. Messung der grössten Steighöhe des Wassers. — §. 161. Berechnung der Anzahl der Arbeiter, welche zur Betreibung einer Spritze ohne Rücksicht auf Widerstände erfordert werden.

§. 162. Konstrukzion der hölzernen Wasserleitungsröhren. — §. 163. Gusseiserne Wasserleitungsröhren, Legung und Verbindung derselben. — §. 164. Kompensazionsröhren hinsichtlich der Ausdehnung oder Verkürzung der Röhren bei verschiedenen Temperaturen. — §. 165. Visitirröhren, Reinigung der Wasserleitungsröhren. — §. 166. Inkrustirung der Röhren, Reinigung derselben auf verschiedene Art. Aufthauen gefrorener Röhren. — §. 167. Prüfung der Wasserleitungsröhren. — §. 168. Hähne oder Pipen. — §. 169. Gewöhnlicher Kegelhahn, detto mit Getriebe. — §. 170. Hahn mit Schuber. — §. 171. Luftständer bei in die Höhe gebogenen Wasserleitungsröhren. — §. 172. Hähne mit Schwimmer zur Regulirung des Zuflusses des Wassers. — §. 173. Hydraulischer Wassermesser. — §. 174. Prüfung des Wassers hinsichtlich seiner Brauchbarkeit. — §. 175. Erfahrungen über die Konsumzion des Wassers in Städten. — §. 176. Leitung und Klärung des Wassers. — §. 177. Beschreibung der Quellwasserleitung für das k. k. Schloss in Prag. — §. 178. Beschreibung der Teichwasserleitung für das k. k. Schloss in Prag. — §. 179. Beschreibung der Wasserleitungen für die Altstadt, Neustadt und Kleinseite in Prag. — §. 180. Bemerkungen hierüber. — §. 181. Geldbeträge, die für den Bezug des Wassers in Prag gezahlt werden. — §. 182. Wasserleitungen in Frankreich. — §. 183. Aeltere Wasserleitungen in *Paris*. — §. 184. Gegenwärtige Anstalten in *Paris* zum Bezuge und zur Filtrirung des Wassers. — §. 185. Beschreibung des *Ourcq*kanales und Angabe des Entwurfes, um *Paris* hinreichend mit Wasser zu versehen. — §. 186. Beschreibung zweier grosser Springbrunnen in *Paris*. — §. 187. Einrichtung der Wasserleitungen in England. — §. 188. Wasserleitungen in *London*. — §. 189. Wasserleitungen in *Manchester* und *Liverpool*. — §. 190. Wasserleitungen in *Glasgow* und *Edinburgh* in Schottland.

§. 191. Theorie des Hebers. — §. 192. Stechheber. Berechnung der Zeit, in welcher eine bestimmte Wassermenge aus einem Gefässe mittelst eines gewöhnlichen Hebers abgelassen werden kann. — §. 193. Verschiedene Arten Heber. — §. 194. Gemauerte Heber am Kanale von *Languedoc*. — Zirknitzer See in Krain. — §. 195. Anwendung des Hebers bei Mühlwerken zur Schonung der Teichdämme. — §. 196. Untersuchung, auf welche Höhe das Zuleitungsgerinne eines unter dem Mühlendamme befindlichen Wasserrades zu stellen sey, damit durch das Rad die meiste Arbeit zu Stande gebracht werden könne. — §. 197. Wenn zur Schonung eines Teichdammes zwei Röhren darüber geführt und mittelst derselben das Wasser auf zwei ungleich hohe Räder geleitet wird, die Höhe beider Gerinne zu bestimmen, damit die Arbeit der Räder ein Maximum werde. — §. 198. Schwingungszeit des Wassers in Hebern oder kommunizirenden Röhren.

§. 199. Erklärung des *Herons*brunnens. — §. 200. Berechnung der Höhe, auf welche das Wasser bei demselben springt. — §. 201. Erklärung der vom Oberkunstmeister *Höll* in *Schemnitz* angegebenen Luftmaschine. — §. 202. Berechnung des Wasserbedarfs zu einem Hube und Anwendung auf die im Amalienschachte zu *Schemnitz* aufgestellt gewesene Maschine. — §. 203. Bemerkungen über die Wirkung der Luftmaschine.

V. Kapitel.

Bewegung des Wassers in Kanälen und Flussbetten.

§. 204. Erklärung verschiedener bei diesem Gegenstande vorkommender Ausdrücke. — §. 205. Gefälle der Flüsse. Pegel oder Wassermerkpfähle. — §. 206. Geschwindigkeit fliessender Gewässer. — §. 207. Die Geschwindigkeiten fliessender Wässer sind auf gleichen Tiefen unter der horizontalen Linie einander gleich. — §. 208. Die Geschwindigkeiten des Wassers in einem Flusse verhalten sich umgekehrt wie die Querschnittsflächen des letztern. — §. 209. Erklärung der Widerstände bei der Bewegung fliessender Gewässer. — §. 210. Fälle, welche hierbei eintreten können und Aufstellung einer Gleichung für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Mühlkanälen und regulären Flussbetten. — §. 211. Vergleichung der aufgestellten Formel mit jener von Herrn *Eytelwein*. — §. 212. In Flüssen und Kanälen verhalten sich die mittleren Geschwindigkeiten bei verschiedenen Anschwellungen, wie die Quadratwurzeln aus den mittlern Tiefen. — §. 213. Beispiele über die Bewegung des Wassers in Mühlkanälen und regulären Flussbetten. — §. 214. Die grösste Geschwindigkeit des Wassers befindet sich in jedem Flusse über der grössten Tiefe. — §. 215. Vortheilhaftestes Profil eines Mühlkanales, wenn die Seitenwände unter rechtem Winkel stehen können. — §. 216. Vortheilhaftestes Profil eines Mühlkanales, wenn die Seitenwände geböscht sind. — §. 217. Trapezförmiges Profil eines Mühlkanales oder Flusses nach Hrn. *Eytelwein*. — §. 218. Beispiele über die Anlage der Mühlkanäle. — §. 219. Rücksichten, welche bei der Anlage der Mühlkanäle zu nehmen sind. — §. 220. Benützung der kleinen Flussarme zur Betreibung von Mühlwerken und Bestimmung der vortheilhaftesten Höhe des Einbaues

zur Stauung des Wassers. — §. 221. Bemerkungen über die Bewegung des Wassers in Flüssen.

§. 222. Messung der Querprofile eines Flusses. — §. 223. Messung der Geschwindigkeit des Wassers an seiner Oberfläche mittelst schwimmender Körper. — §. 224. Dasselbe mittelst eines kleinen Rädchens. — §. 225. Messung der mittleren Geschwindigkeit des Wassers mittelst des Stabes von *Cabeo*. — §. 226. Messung der Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche und in jeder Tiefe mittelst der Röhre des *Pitot*. — §. 227. Dasselbe mittelst des Stromquadranten oder hydrometrischen Pendels. — §. 228. Beispiel hierüber. — §. 229 und 230. Messung der Geschwindigkeit des Wassers auf grösseren Tiefen mittelst des hydrometrischen Pendels, wenn auf die Stosskraft des Wassers an den Faden Rücksicht genommen wird. — §. 231. Konstrukzion des hydrometrischen Pendels. — §. 232. Messung der Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche und in jeder Tiefe mittelst der hydraulischen Schnellwage des *Michelotti*. — §. 233. Dasselbe mittelst des Wasserhebels von *Lorgna*. — §. 234. Dasselbe mittelst der Wasserfahne von *Ximenes*. — §. 235. Dasselbe mittelst des Tachometers oder Geschwindigkeitsmessers von *Brünings*. — §. 236. Hydrometrischer Flügel von *Woltmann* zu demselben Zwecke. — §. 237. Bestimmung des Gesetzes, nach welchem sich die Geschwindigkeiten vom Wasserspiegel bis zum Grundbette der Flüsse gewöhnlich zu ändern pflegen. Geschwindigkeitsskale nach den Versuchen am *Arno*, Ober- und Unterrhein und an der *Waal*. — §. 238. Gesetz der Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen. — §. 239. Berechnung der Wassermenge, welche ein Fluss abführt. — §. 240. Geschwindigkeiten, wodurch verschiedene Materialien in einem Flusse fortgeführt werden. — §. 241. Bemerkungen über die Wichtigkeit solcher Geschwindigkeitsmessungen.

§. 242. Benützung des Wassers zur Betreibung von Maschinen. Anlage der Wehren. — §. 243. Erklärung mehrerer bei diesem Gegenstande vorkommender Benennungen. — §. 244. Stau des Wassers in Flussbetten, Stauhöhe und Stauweite. Verschiedene Fälle, welche hier eintreten können. — §. 245. Bestimmung der Stauhöhe für den Fall, wenn in einem Flusse ein Wehr von einem Ufer zum andern in einer solchen Höhe erbaut wird, dass dasselbe kleiner ist als die frühere Wassertiefe. — §. 246. Beispiel hierüber. — §. 247. Stauhöhe für den Fall, wenn dem Wehre die ganze Wassertiefe zur Höhe gegeben wird. — §. 248. Stauhöhe für den Fall, wenn das Wehr über die Oberfläche des natürlichen Wassers gebaut wird. — §. 249. Stauhöhe bei Verengung des Flussbettes, z. B. bei dem Baue der Brücken. — §. 250. Stauhöhe, welche durch die Anlegung von Buhnen entsteht. — §. 251. Bei Einbauen in einem Flusse wird die Geschwindigkeit des Wassers am Boden grösser als an der Oberfläche. Versuche von *Mariotte* hierüber. Bemerkungen über den Stau. — §. 252. Bestimmung der Stauweite, und dann der Stauhöhe für jeden Ort der Stauweite mittelst einer elementaren Berechnung. — §. 253. Beispiel hierüber. Allgemeine Gleichung für die ungleichförmige Bewegung der fliessenden Wässer und das Längenprofil für ihre Oberfläche. — §. 254. Auflösung des vorigen Beispieles nach der aufgestellten höheren Rechnung.

VI. Kapitel.

Stoss des Wassers und dessen Wirkung auf unterschlächtige Räder.

§. 255. Verschiedene Arten der Wasserräder. — §. 256. Fälle, welche bei dem Stosse des Wassers vorkommen. — §. 257. Stoss eines isolirten Wasserstrahles auf eine ruhende winkelrecht entgegenstehende Fläche. — §. 258. Stoss des Wassers in Gerinnen gegen unterschlächtige Räder nach der Theorie von *Parent*. — §. 259. Wasserstoss in Gerinnen auf solche Flächen, welche sich mit einer geringeren Geschwindigkeit als das daranfliessende Wasser bewegen, nach der Theorie von Ritter von *Gerstner* (Vater). — §. 260. Vergleichung dieses Wasserstosses mit jenem bei unterschlächtigen Rädern. — §. 261. Bestimmung der Wassermenge, welche bei einem unterschlächtigen Wasserrade in einem Gerinne wirklich zum Stosse kommt. — §. 262. Der Halbmesser des Wasserrades hat auf die Grösse seiner Wirkung keinen Einfluss. Bestimmung der vortheilhaftesten Geschwindigkeit des Rades zur Bewirkung der grössten Wirkung. — §. 263. Rückstau des Wassers, wenn ein Wasserrad im Gerinne angebracht ist. — §. 264. Beseitigung dieses Rückstaues. Kröpfung des Gerinnebodens unter dem Rade. — §. 265. Bestättigung der gefundenen vortheilhaftesten Geschwindigkeit eines Wasserrades mit den hierüber bekannt gewordenen Erfahrungen. — §. 266. Bemerkungen hierüber. — §. 267. Die Einrichtung der Hebelsarme des Maschinenwerkes muss immer für die der grössten Wirkung entsprechende Geschwindigkeit der Radschaufeln und die der Arbeit zuträgliche Geschwindigkeit gemacht werden. —

§. 268. Erfahrungen über die vortheilhafteste Geschwindigkeit der Mühlsteine. — §. 269. Erfahrungen über das Mahlquantum bei verschiedenen Getreide-Mahl-Mühlen. — §. 270. Untersuchung, ob es vortheilhafter sey, zwei Räder in ein und dasselbe Gerinne hinter einander zu stellen, oder für jedes Wasserrad ein eigenes Gerinne vorzurichten. — §. 271. Kröpfung eines Gerinnes mit zwei Rädern. — §. 272. Untersuchung des Vortheiles, welchen drei in ein gemeinschaftliches Gerinne hinter einander gestellte Räder gegen den Fall haben, wenn jedes Rad in ein besonderes Gerinne gestellt wird. — §. 273. Kröpfung der Gerinne mit drei Rädern. — §. 274. Widerstand, welchen das Wasser von den Wänden des Gerinnes erfährt. — §. 275. Versuch bei einer Wasser-Mahl-Mühle in Prag zur Bestimmung des Bewegungsmomentes, welches für ein gegebenes Mahlquantum erfordert wird. — §. 276. Hiernach abgeleitete Grundsätze bei der Anlage einer Mahl-Mühle. — §. 277. Erklärung der Getreide-Mühlen und der Operazionen, welche bei dem Mahlen vorkommen. — §. 278. Beschreibung einer unterschlächtigen Getreide-Mahl-Mühle in Prag. Gefälle derselben und Regulirung der Oberfläche der Hauptschwelle mittelst des Normalpfahles. Bau der Mühlgerinne und Schützen. — §. 279. Bauart der unterschlächtigen Wasserräder. — §. 280. Vorgelege. — §. 281. Mühlspindel, Befestigung des Läufers an derselben und seine jedesmalige Stellung. — §. 282. Bodenstein, Läufer, Eigenschaften der Mühlsteine. — §. 283. Zuführung des Getreides mittelst des Rumpfes. Bewegung des letztern. Rührer oder Steinruthe. — §. 284. Beutelsack, Befestigung und Bewegung desselben. Warnung. — §. 285. Bemerkungen über die Stellung des Läufers mittelst des Steges. — §. 286. Lohn für das Getreidemahlen.

§. 287. Bestättigung der vorgetragenen Theorie des Wasserstosses in Schussgerinnen durch hierüber angestellte Versuche. Untersuchung der Fälle, welche hierbei Statt finden können. — §. 288. Versuche von *Bossut* über die vortheilhafteste Anzahl der Radschaufeln und Vergleichung derselben mit der aufgestellten Theorie. — §. 289. Genaue Bestimmung der Grösse und Wir-

kung des Staues in Mühlgerinnen. — §. 290. Genaue Bestimmung der Grösse des Wasserstosses und der vortheilhaftesten Geschwindigkeit der Radschaufeln mit Rücksicht auf den Rückstau des Wassers. — §. 291. Widerstand der Luft und der Reibung bei Wasserrädern. — §. 292. Versuche von *Smeaton* zur Bestimmung der vortheilhaftesten Geschwindigkeit der unterschlächtigen Wasserräder und ihrer Wirkung. Vergleichung dieser Versuche mit der aufgestellten Theorie. — §. 293. Weitere Versuche von *Smeaton* zu demselben Zwecke und Vergleichung derselben mit unserer Theorie. — §. 294. Versuche von *Bossut* und Vergleichung derselben mit der Theorie. — §. 295. Uibereinstimmung der angeführten Versuche mit der Theorie und Bemerkungen hierüber.

§. 296. Stoss des Wassers auf Schiffmühlenräder. — §. 297. Anordnung der Schiffmühlen zum Getreidemahlen.

VII. Kapitel.

Oberschlächtige Räder, Kropfräder.

§. 298. Verschiedene Arten oberschlächtiger Räder. — §. 299. Forderungen, welchen die zweckmässigste Bauart der Zellen oberschlächtiger Räder entsprechen soll. — §. 300. Gewöhnliche Bauart oberschlächtiger Räder. — §. 301. Bestimmung des wasserhaltenden Bogens eines oberschlächtigen Rades bei der gewöhnlichen Bauart. — §. 302. Vortheile der Verminderung des Winkels, welchen die Kropfschaufeln mit dem Theilrisse bilden. — §. 303. Beispiel hierüber. — §. 304. Konstrukzion der oberschlächtigen Räder von Eisen. Vortheile, wenn der Umfang solcher Räder mit angegossenen Zähnen versehen ist, welche unmittelbar in das Getriebe eingreifen. — §. 305. Statisches Moment des wasserhaltenden Bogens eines oberschlächtigen Rades. — §. 306. Untersuchungen über den Einfluss und Stoss des Wassers. Vortheilhafteste Geschwindigkeit des Wasserrades. Lothrechte Stellung der Schütze. — §. 307. Weitere Ausführung dieses Gegenstandes. Tabelle zur Berechnung der grössten Wirkung oberschlächtiger Räder, wenn die Zellen mit zwei Drittel ihres Inhaltes angefüllt werden. — §. 308. Beispiel hierüber. — §. 309. Tabelle zur Berechnung der grössten Wirkung oberschlächtiger Räder, wenn die Zellen nur mit dem vierten Theile ihres Inhaltes angefüllt werden. — §. 310. Vergleichung der gefundenen Resultate, wenn die Zellen bis zu ⅔tel oder nur mit ¼tel ihres Inhaltes angefüllt werden. Beispiel hierüber. Bestättigung dieser Theorie bei Hammerwerken. — §. 311. Untersuchung, in welchen Fällen die Anlegung der unterschlächtigen oder oberschlächtigen Räder vorzuziehen sey.

§. 312. Untersuchung des Widerstandes, welcher bei dem Sägen des Holzes entsteht. — §. 313. Erfahrungen von *Belidor* über das Bretsägen. Erfahrungen bei dem Zerschneiden der Bauholzstämme durch Zimmerleute. — §. 314. Versuch bei einer Bretsäge in Prag zur Bestimmung des Bewegungsmomentes für eine gegebene Schnittfläche. — §. 315. Versuch bei einer Bretsäge zu *Stiahlau* in Böhmen. — §. 316. Versuche von *Coriolis* in Frankreich und Bemerkungen hierüber. — §. 317. Berechnung einer in Böhmen aufgestellten oberschlächtigen Bretsäge nebst Angabe ihrer Leistung. — §. 318. Beschreibung einer oberschlächtigen Bretsäge in Böhmen. Bauart des Zuleitungsgerinnes und der Schütze. — §. 319. Bauart des oberschlächtigen Wasserrades, des Stirnrades, Drehlings und des Schwungrades. — §. 320. Kurbel, Lenker, Sägegatter nebst Gattersäulen. — §. 321. Bauart des Wagens und Befestigung der Stämme auf demselben. — §. 322. Vorrückung des Wagens während dem Sägen, Zurückschieben des Wagens nach vollbrachtem Schnitte. — §. 323. Bestimmung der Zuschiebung des Klotzes bei jedem Schnitte der Säge, Einrichtung des Zuschiebezeuges. — §. 324. Einhängung und Schränkung der Säge. Regulirung der Bewegung des Wagens. Sägespändach. — §. 325. Gebäude einer Bretsäge, Abänderungen derselben. Vorrichtung zum Aufziehen der Klötze. — §. 326. Einrichtung einer Bretsäge mit zwei Blättern. Bretsäge nach englischer Art, mit eisernem Rahmen, eisernem Gatter und mehreren Sägeblättern.

§. 327. Prüfung der Zweckmässigkeit der Bauart eines bestehenden oberschlächtigen Wasserwerkes. — §. 328. Anwendung hiervon auf die §. 317 beschriebene oberschlächtige Bretsäge. Verbesserungen, welche hinsichtlich der wirksamen Wassersäule für die obere Hälfte des Rades hierbei zu machen wären. — §. 329. Dasselbe bei der wirksamen Wassersäule für die untere Hälfte des Rades. Allgemeine Bemerkungen über die Untersuchung und Verbesserung der Bauart der oberschlächtigen Räder und über die Abänderung, welche sodann bei dem übrigen Maschinenwerke vorgenommen werden muss.

§. 330. Erklärung der mittelschlächtigen oder Kropfräder. — §. 331. Bauart der Kropfräder nach *Eytelwein* und *Neumann*. Abrundung des Kropfgerinnes nach *Neumann*. — §. 332. Bemerkungen über die letzte Konstrukzion. — §. 333. Räder mit gekrümmten Schaufeln nach *Poncelet* und Bemerkungen hierüber. — §. 334. Berechnung des Bewegungsmomentes eines Kropfrades und Untersuchung der Umstände, unter welchen es ein Maximum wird. — §. 335. Berechnung des grössten Bewegungsmomentes der oberschlächtigen Räder, wobei das Wasser nicht vom Scheitel, sondern zur Seite einfällt und der Zufluss desselben nicht unterhalb, sondern über den Schützen Statt findet. — §. 336. Vergleichung dieser Anordnung mit einem oberschlächtigen Rade nach der frühern Theorie. Vortheile dieser Konstrukzion. — §. 337. Beseitigung des Rückstaues bei Kropfrädern. — §. 338. Weite der Radkränze bei Kropfrädern. — §. 339. Angabe einer zweiten Art, den Wasserzufluss oberhalb eines Schutzbretes zu leiten und beliebig zu reguliren. — §. 340. Dritte Art, den Zufluss des Wassers mittelst zweier Schützen auf ein Wasserrad zu leiten. Bauart eines solchen Rades zu *Belper* in England.

VIII. Kapitel.

Widerstand fester Körper bei ihrer Bewegung in flüssigen.

§. 341. Allgemeine Gesetze für den Widerstand fester Körper bei ihrer Bewegung in flüssigen. — §. 342. Widerstand geneigter Flächen. — §. 343. Versuche über den Stoss des Wassers an schiefe Flächen und Vergleichung derselben mit der Theorie. — §. 344. Versuche des englischen Obersten *Beaufoy* über den Widerstand, welchen verschiedenartig geformte feste Körper bei ihrer Bewegung im Wasser finden. — §. 345. Versuche von *Walker* in *London* über den Widerstand, welchen Boote bei ihrer Bewegung im Wasser mit verschiedenen Geschwindigkeiten erfahren. Folgerungen aus diesen Versuchen hinsichtlich der Fracht auf Kanälen und Eisenbahnen.

§. 346. Bestimmung des Widerstandes der Oberfläche einer Kugel. — §. 347. Untersuchung des freien Falles einer Kugel im widerstehenden Mittel. Bestim-

nung der grössten Geschwindigkeit, welche dieselbe erhalten kann und Beispiele hierüber. — §. 348. Bewegung einer lothrecht in die Höhe geworfenen Kugel im widerstehenden Mittel nebst Beispielen hierüber. — §. 349. Dasselbe für den Fall, wenn die Kugel mit einer kleinern Geschwindigkeit geworfen wird. Vergleichung der gefundenen Formeln mit jenen im I. Bande (§. 492). — §. 350. Bahn schief geworfener Kugeln mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft. Allgemeine Gleichungen für diesen Fall. — §. 351. Angabe einer genauen Methode zur Berechnung der Bahn der Kugeln, die weder von der Grösse der Wurfsgeschwindigkeit, noch von der Kleinheit der Winkel, welche die Richtung der Kugel zu Anfang und in jedem Punkte ihrer Bewegung mit dem Horizonte macht, abhängig ist. Allgemeine Tabelle zur Berechnung der Bogenlänge und der Coordinaten der Ballistischen Linie im widerstehenden Mittel. — §. 352. Berechnung der Bahn einer Kugel im widerstehenden Mittel für die Wurfswinkel von 45, 30 und 15 Grad. Allgemeine Bemerkungen über die Auflösung dieser schwierigen Aufgabe.

§. 353. Geschichtliche Darstellung der Kanalschiffahrt in England und ihrer Vortheile. — §. 354. Vortheile des englischen Klima für die Anlage der Kanäle, Schwierigkeiten ihrer Ausführung. Kanäle der grossen und kleinen Schiffahrt. Tabellarische Uebersicht der englischen Kanäle. — §. 355. Bildung der Akziengesellschaften und Parlamentsakten zur Ausführung der Kanäle. Uibersicht der Erträgnisse und des Preises der Kanalakzien in England. — §. 356. Kurze Beschreibung der vorzüglichsten Schiffahrtskanäle in England, ihrer Anlage, Baukosten, des jährlich geführten Frachtquantums, der Einnahmen und Auslagen. Kanal des Herzogs von *Bridgewater*. *Sankey*kanal. *Manchester-Bolton* und *Bury*kanal. Kanal von *Rochdale*, von *Ashton* und *Oldham*, von *Huddersfield* und *Peak-Forest* Kanal. — §. 357. Seeschiffahrt von *Liverpool* und Zunahme derselben während der lezten 80 Jahre. — §. 358. Kanal von *Ellesmere* und *Chester*; Brückenwasserleitung von *Cysylte*. Kanal von *Shropshire*, von *Shrewsbury*, von *Ketley*, *Grand Trunk* Kanal und Kanal von *Erewash*. — §. 359. Kanal von *Leeds* und *Liverpool*. — §. 360. Kanal der *Themse* und des Flusses *Medway*, Kanal von *Oxford*, *Grand Junction* und *Monmouthshire* Kanal. — §. 361. *Kennet* und *Avon* Kanal. §. 362. *Gloucester* und *Berkeley* Kanal. — §. 363. Kanal von *Birmingham*, dann *Birmingham* und *Fazeley* Kanal. Beschreibung der grossen Arbeiten, welche vom Jahre 1825 bis 1829 an diesem Kanale vorgenommen wurden. — §. 364. *Forth* und *Clyde*kanal in Schottland. Erträgnisse desselben vom Jahre 1800 bis 1828. Dampfschiffahrt auf diesem Kanale. — §. 365. *Caledoni*scher Kanal in Schottland. — §. 366. Bemerkungen über die Art der Ausführung der englischen Kanäle und ihre Verzinsung — §. 367 und 368. Untersuchung der Frage, ob die Anlage der Schiffahrtskanäle oder Eisenbahnen zur Beförderung der Frachten zuträglicher sey. — §. 369. Vortheile der Eisenbahnen und allgemeine Bemerkungen.

Vergleichung der im I. und II. Bande vorkommenden ausländischen Maasse, Gewichte und Münzen mit jenen in Oesterreich.

1 englischer Fuss = 0,9642 N. Oe. Fuss.
1 engl. *Yard* = 3 engl. Fuss = 2,8926 N. Oe. Fuss = 1,1734 N. Oe. Elle.
1 engl. Meile = 1760 *Yards* = 848 N. Oe. Klafter.
1 engl. Handelspfund, *Imperial Standard Avoirdupois Pound* = 0,8099 N. Oe. Pfund = 25,9168 N. Oe. Loth.
1 engl. *Acre* Flächeninhalt = 1125 N. Oe. Quadratklafter.
1 engl. Tonne = 20 engl. Zentner, den Zentner zu 112 Pfund oder zu 8 *Stones*, jedes von 14 Pfund = = 1814 N. Oe. Pfund.
1 *Newcastle Chaldron* Steinkohlen = 53 engl. Zentner.
1 engl. *Imperial Standard Gallon* = 0,07829 N. Oe. Eimer = 0,14 N. Oe. Kub. Fuss.
1 *Liv. sterling* = 20 *Shilling* zu 12 *Pence* = 10 fl. Conv. Münze im 20 Gulden-Fusse.
1 alter Pariser Fuss, *Pied* = 1,0276 N. Oe. Fuss.
1 *mètre* = 10 *decimètre* = 100 *centimètre* = 3,1635 N. Oe. Fuss.
1 *Litre* = $^{1}/_{1000}$ Kub. *mètre* = 0,03166 N. Oe. Kub. Fuss.
1 altes Pariser Pfund, *Livre* = 0,8741 N. Oe. Pfund.
1 *Kilogramme* = 1,7857 N. Oe. Pfund.
1 französische Tonne = 1000 *Kilogrammes* = 1786 N. Oe. Pfund.
1 *Franc* = 100 *Centimes* = 24 Kreuzer Conv. Münze.
1 Rheinländer, Preussischer oder Berliner Fuss = 0,993 N. Oe. Fuss.
1 Preussisches, Berliner oder Kölnisches Pfund = 0,8352 N. Oe. Pfund.
1 Rheinländer Scheffel = 0,8937 N. Oe. Metzen.
1 Dresdner Fuss = 0,893 N. Oe. Fuss.
1 Schwedischer Fuss = 0,9391 N. Oe. Fuss.
1 Schemnitzer Berglachter = $1^{\circ}\ 4''\ 10{,}5'''$ N. Oe. Maass.
1 *Soldi* = 0,15453 Rheinländer Fuss.
1 Amsterdamer Pfund = 0,8806 N. Oe. Pfund.
1 Schwedisches Schalpfund = 0,7563 N. Oe. Pfund.
1 Dresdner Pfund = 1 Leipziger Pfund = 0,8347 N. Oe. Pfund.
1 böhmische Elle = 2 böhm. Fuss = $2 \cdot {}^{11}/_{16}$ N. Oe. Fuss.

Mechanik flüssiger Körper.

Einleitung.

§. 1.

Flüssige Körper nennt man diejenigen, deren Theile entweder gar nicht, oder so wenig an einander hängen, dass sie durch Einwirkung einer äusserst geringen Kraft verrückt oder zwischen einander verschoben werden können. Wir sehen die Eigenschaft der **Flüssigkeit** deutlich an dem Wasser, Quecksilber, den flüssigen Metallen, der Luft und den Dämpfen jeder Art. Alle einzelnen Theile dieser Flüssigkeiten sind nämlich für sich beweglich, ohne die benachbarten Theile mit fortzureissen, sie geben jedem Drucke sogleich nach, man kann daher fremde Körper ohne merklichen Kraftaufwand zwischen dieselben bringen. Dagegen wissen wir, dass bei **festen Körpern** die Theile unter einander auf eine solche Art zusammenhängen, dass die Bewegung eines Theiles ohne eine gleiche Bewegung der benachbarten nicht Statt finden kann, und dass überhaupt das Eindringen eines fremden Körpers zwischen seine Theile ohne eine gewaltsame Beschädigung oder Trennung gar nicht möglich, noch weniger eine Bewegung zwischen denselben gedenkbar ist.

Es ist merkwürdig, dass die Flüssigkeit der Körper bestehen kann, obgleich ihre Theile sich wechselseitig mehr oder minder anziehen. Denken wir uns z. B. ein System von polirten kleinen Kugeln, die einander ohne Reibung berühren, und sich wechselseitig nach Richtungen gegen ihre Mittelpunkte anziehen, so dass die Anziehung in allen Punkten ihrer Peripherie gleich ist, so kann man eine jede dieser Kugeln um die andere herumdrehen und wo immer hin ohne Widerstand bewegen, weil die gleiche Anziehung der umgebenden Kugeln sich überall aufhebt. In England zeigt man in physikalischen Kabinetten weite, mit sehr kleinen Kugeln (sogenanntem Vogeldunst) angefüllte Gefässe, womit die angeführten Eigenschaften der Flüssigkeiten und überhaupt alle Phänomene bei dem Schwimmen, so wie auch die Wellenbewegung sehr auffallend dargestellt wird. Auf diese Art kann man sich daher die Flüssigkeit der Körper am leichtesten vorstellen. Auch erklärt sich hieraus, dass durch Anziehung die Theile der Körper nur in dem Falle an einander festgemacht werden, wenn sich die Anziehung nicht in der ganzen Peripherie der Elemente gleich, sondern nur nach bestimmten Richtungen und bestimmten Punkten derselben äussert, wie wir diess bei dem Gefrieren des Wassers und bei den Krystallisazionen gewahr werden.

Die flüssigen Körper werden gewöhnlich in vollkommen und unvollkommen flüssige eingetheilt. Erstere heissen diejenigen, deren Theile unter einander vollkommen beweglich sind, als das Wasser, das Quecksilber, die Luft, die Dämpfe und alle Gasarten; unvollkommen flüssig hingegen sind jene Körper, deren Theile einen gewissen Zusammenhang, welchen man Zähigkeit nennt, besitzen. Beispiele hievon sehen wir bei mehreren Körpern, welche, durch Wärme flüssig gemacht, sich wieder abkühlen, als bei dem Wachse und Harze, dem Oehle und den Metallen.

§. 2.

Die flüssigen Körper können noch in zusammendrückbare oder elastische, und in unpressbare oder unelastische eingetheilt werden. Die ersteren, nämlich die elastischen Flüssigkeiten, haben eben so wie die elastischen festen Körper (Siehe §. 235, I. Bd.) die Eigenschaft, dass sie durch Einwirkung äusserer Kräfte ausgedehnt, oder auch in einen kleineren Raum zusammengepresst werden können. Diese Eigenschaft besitzen aber die elastisch flüssigen Körper in einem so hohen Grade, dass sie ihr Volumen nur durch die Fortdauer einer gleichförmig auf sie einwirkenden äusseren Kraft behalten; wenn diese vermindert wird, sogleich ihren Raum vergrössern, und wenn sie ganz aufhört, sich bis in's Unendliche ausbreiten. Diess ist bei der atmosphärischen Luft, den Gasarten und den Wasserdämpfen der Fall.

Unpressbare oder unelastische Flüssigkeiten hat man im Gegentheile diejenigen genannt, welche sich weder zusammenpressen lassen, noch ausgedehnt werden können. Hierher werden alle tropfbar flüssigen Körper und vorzüglich das Wasser gerechnet. Im verflossenen Jahrhunderte haben die Akademiker zu Florenz Wasser in hohle Kugeln von Gold einschliessen und dem Drucke einer sehr starken Presse unterlegen lassen und gefunden, dass hierdurch keine merkliche Verminderung des Volumens, sondern nur ein Durchschwitzen des Wassers durch die unsichtbaren Oeffnungen dieses äusserst dichten Metalles bewirkt werden konnte; diess gab die eigentliche Veranlassung zu der angeführten Eintheilung der Flüssigkeiten. In neueren Zeiten hat man durch Anwendung hoher Quecksilbersäulen zur Zusammendrückung des Wassers in gläsernen Gefässen gefunden, dass das Maass des Volumens des zusammengedrückten Wassers kleiner sei, als das Maass der Ausdehnung des Gefässes, in welchem das gedrückte Wasser enthalten war; auf diese Art ist demnach eine Zusammendrückung des Wassers sichtbar dargestellt worden, und somit entfiel auch der Grund der obigen Eintheilung. Zum Beweise der Elastizität des Wassers dient übrigens noch die bekannte Erfahrung, dass der Mittelpunkt einer hinter einem Teiche aufgestellten Zielscheibe von einer bleiernen, gegen das Bild auf der Oberfläche des Wassers abgeschossenen Flintenkugel um so genauer getroffen werde, je genauer die Mitte dieses auf der Teichoberfläche sichtbaren Bildes der Scheibe erzielt wird; es muss demnach die bleierne Kugel, der man die vollkommene Elastizität nicht beimessen kann, wegen der elastischen Kraft des Wassers von der Oberfläche des letzteren eben so wie die Lichtstrahlen unter gleichem Winkel reflectirt werden. Da jedoch der Spielraum der Zusammendrückung des Wassers äusserst gering ist, so wird hierauf in allen Fällen, wo der Druck desselben und der übrigen tropfbar flüssigen Körper in Anschlag kommt, keine

Rücksicht genommen, demnach diese Körper als unzusammendrückbare behandelt.

Die merkwürdige Elastizität, welche die luftförmigen flüssigen Körper besitzen, wird wegen ihrer vielfältigen Anwendung in einem eigenen Kapitel abgehandelt werden, nachdem wir früher von den Eigenschaften, welche allen flüssigen mehr oder minder elastischen Körpern zukommen, gesprochen haben.

§. 3.

Die Mechanik flüssiger Körper wird gewöhnlich in fünf Hauptabschnitte eingetheilt, nämlich:

I. Die Hydrostatik, welche von den Gesetzen des Druckes und Gegendruckes flüssiger Körper und zwar sowohl unter einander als auch gegen andere damit in Berührung gebrachte feste Körper handelt;

II. die Hydraulik, worin die Gesetze der Bewegung flüssiger Körper und ihre Widerstände erklärt werden;

III. die Aërostatik, welche von den Gesetzen des Gleichgewichtes und Druckes elastischer Flüssigkeiten handelt;

IV. die Pneumatik, oder die Lehre von der Bewegung der elastischen Flüssigkeiten;

V. die Hydrodynamik, welche von den Kräften der flüssigen Körper, womit sie sich selbst und andere Körper in Bewegung setzen oder auch ihre Bewegung hindern, handelt.

Unserem Grundsatze gemäss, die Theorie mit steter Rücksicht auf die Anwendung vorzutragen, werden wir auch die Mechanik flüssiger Körper nicht in der strengen Ordnung dieser fünf Hauptabtheilungen behandeln, sondern die minder zusammengesetzten Maschinen sogleich bei dem Vortrage der Theorie darstellen, und nur die grössern Maschinenanlagen, bei deren Erklärung die Theorie der Mechanik fester und flüssiger Körper vorausgesetzt wird, dem III. Bande unseres Werkes vorbehalten.

I. Kapitel.

Hydrostatik.

§. 4.

Die Hydrostatik begreift die Lehre vom Druck und Gegendruck der flüssigen Körper sowohl unter sich, als mit andern damit in Berührung gesetzten Körpern.

Aus dem Begriffe, welchen wir §. 1. von flüssigen Körpern gegeben haben, folgt, dass ihre Theile nicht anders zusammengehalten und aufbewahrt werden können, als wenn man selbe in die hohlen Räume anderer fester Körper oder in Gefässe einschliesst; das Wasser z. B. kann nur in Gefässen von Metall,...... aufbewahrt, und so von einem Orte zum andern gebracht werden.

Wir wollen nun zuerst die Eigenschaften betrachten, welche aus der Beweglichkeit der Theile in einer von allen Seiten umschlossenen Flüssigkeit folgen, die wir uns zuerst ohne alle Schwere denken. Nehmen wir an, dass ein Theilchen irgend woher einen Druck erfährt, so wird sich die Flüssigkeit nur dann im Zustande der Ruhe befinden können, wenn auch alle übrigen Theile derselben nach jeder Seite einen gleichen Druck ausüben und erleiden. Denn erfährt z. B. das Theil-
Fig. chen a irgend einen Druck, so hat es vermöge der vollkommenen Beweglichkeit der
1. Tab. umgebenden Theile die Fähigkeit nach allen Seiten auszuweichen, und sich dorthin zu
41. bewegen, woher es einen geringern Gegendruck erfährt; bleibt aber das Theilchen a in Ruhe, so wird es auch alle neben ihm liegenden Theilchen mit derselben Kraft auseinander treiben, oder drücken, mit welcher es irgend woher gedrückt wird. Demnach erfahren alle Theile um a einen gleichen Druck; dasselbe muss aber auch bei b Statt finden; denn würde z. B. der Theil b nach der Richtung c b stärker als nach der Richtung a b gedrückt, so würde er vermöge seiner Beweglichkeit dem stärkeren Drucke folgen; es müsste daher eine Bewegung eintreten, was dem angenommenen Gleichgewichte oder der Ruhe der Flüssigkeit widerspricht. Was sich aber von a und b beweisen lässt, kann auch von c, d, e erwiesen werden und demnach ergibt sich, dass bei einer aus vollkommen beweglichen, nicht schweren Theilen zusammengesetzten Flüssigkeit im Zustande der Ruhe in allen diesen Theilen nach allen Richtungen ein gleicher Druck vorhanden seyn müsse.

§. 5.

Hieraus ergibt sich offenbar, dass der Druck der Flüssigkeiten auf un-
Fig. gleiche Flächen sich wie diese Flächen selbst verhalte oder diesen
2. Flächen proporzional sey. Es sey nämlich Fig. 2 ein Gefäss, welches mit einer

Flüssigkeit z. B. mit Wasser gefüllt und verschlossen wurde, worin man jedoch zwei Oeffnungen A B und C D, die mit Stöpseln bedeckt sind, angebracht hat. Da die Flüssigkeit nach der obigen Erklärung auf einen jeden Punkt dieser zwei Stöpsel gleich stark drückt, so ist offenbar, dass wenn der eine z. B. eine 10 Mal grössere Fläche als der andere hat, auch der Druck auf denselben 10 Mal grösser, und überhaupt der Druck der Fläche proporzional seyn müsse. Werden daher diese Stöpsel mit Gewichten beschwert, und setzen wir das eigene Gewicht des Stöpsels A B sammt dem darauf liegenden Gewichte = P und das eigene Gewicht des Stöpsels C D sammt dem darauf liegenden Gewichte = p, die zwei Flächen der Stöpsel = F und f, so muss für den Zustand des Gleichgewichtes $F : f = P : p$ seyn. Fig. 2. Tab. 41.

Die Richtigkeit dieses Satzes lässt sich durch ein Experiment leicht erweisen. Nimmt man nämlich ein Gefäss, welches bis auf zwei Oeffnungen vollkommen verschlossen ist, bringt man in diese Oeffnungen zwei sehr gut passende Stöpsel an, und legt so lange Gewichte darauf, bis sie einander das Gleichgewicht halten, so werden sich diese Gewichte z. B. wie 1 : 10 verhalten, wenn die Oeffnungen in diesem Verhältnisse stehen. (Hierbei ist jedoch die Reibung der Stöpsel nicht berücksichtiget). Fig. 3.

Der vorhergehende Satz findet offenbar nicht nur Statt, wenn die Oeffnungen oben, sondern auch, wenn sie seitwärts wie Fig. 4 oder auch unten angebracht sind, weil wir nach unserer Voraussetzung auf das grössere Gewicht, womit die unteren Theile von der Schwere der darauf liegenden belastet sind, noch keine Rücksicht nehmen. Uebrigens leuchtet es von selbst ein, dass dieser erste Satz eine Analogie mit dem Hauptsatze der Statik habe, wo sich die Gewichte oder Kräfte im Zustande des Gleichgewichtes verkehrt wie ihre Hebelsarme verhalten. Fig. 4.

§. 6.

In neueren Zeiten hat man von diesem Satze, dass der Druck nach Verhältniss der Fläche zunehme, eine Anwendung zur Konstrukzion einer Presse gemacht, welche unter dem Namen hydrostatische Presse bekannt ist. Die Erfindung derselben wird dem Engländer *Bramah* zugeschrieben. Die Presse gewährt den Vortheil, dass sie einen sehr kleinen Raum einnimmt und wirksamer als alle andern bekannten Pressen ist; man wendet sie daher in Fabriken zum Pressen der Zeuge, in Papiermühlen zum Pressen des Papieres und zu vielen andern Zwecken, ja sogar zum Ausreissen der Baumstöcke, zum Heben eines Dachstuhles u. s. w. an. Bei dieser Presse ist das Wasser in einem sehr dünnen Rohre a b mit dem Wasser in einem stärkeren Rohre c d in Verbindung gesetzt; in dem ersten Rohre wird ein Kolben a e herabgedrückt, welcher das Wasser in das weitere Rohr presst und hiedurch den Kolben d i, auf welchem die Last liegt, hinauftreibt. Der Kolben a e wird durch die Kraft, welche an dem Hebel A C wirkt, herabgedrückt, an dem Ende C wirken gewöhnlich ein oder mehrere Menschen; manchmal wird der Kolben durch die Kraft eines Wasserrades, oder wie es in den englischen Fabriken der Fall ist, durch eine Dampfmaschine bewegt. Fig. 5.

Es sey die am Ende des Hebels in C wirkende Kraft = K, der Druck, welchen diese Kraft auf den Kolben a e hervorbringt = $\mathfrak{K}$, die Fläche des kleineren Kolbens = f, und jene des grösseren = F, endlich sey Q der Druck des Wassers gegen F, so

Fig. 5 Tab. 41. wird auch, wenn man keine Reibung berücksichtigt, Q die Kraft seyn, womit die Zeuge zusammengepresst werden. Da sich nun nach dem vorigen §. die drückenden Gewichte wie die Flächen verhalten, so ist $\mathfrak{K} : Q = f : F$ und wegen des Hebels ist $K : \mathfrak{K} = AB : AC$, folglich $K : Q = f.AB : F.AC$, und da man die Kraft eines Arbeiters, welcher für eine kurze Zeit verwendet wird, zu 100 ℔ annehmen kann, so ergibt sich $Q = 100 \cdot \frac{F.AC}{f.AB}$; will man daher einen sehr grossen Druck ausüben, so müssen die Verhältnisse $\frac{F}{f}$ und $\frac{AC}{AB}$ möglichst gross werden.

B e i s p i e l. Es sey der Durchmesser der kleineren Röhre = 1 Zoll und des grösseren Cylinders = 24 Zoll, so ist $\frac{F}{f} = \frac{{}^{11}/_{14} . 24 . 24}{{}^{11}/_{14} . 1 . 1} = 24 . 24$, ferner sey das Verhältniss der Hebelsarme $AB : AC = 1 : 10$, so ist $Q = 100 . 10 . 24 . 24 = 576000$ Pfund = 5760 Zentner; ein Mensch kann daher einen Druck von 5760 Zentner ausüben; hierbei ist jedoch auf die Reibung noch keine Rücksicht genommen.

Da dieser Druck ausserordentlich gross ist, so wird auch die Presse des *Bramah* als die stärkste von allen bekannten Pressen angesehen, und in neueren Zeiten in den Fabriken sehr häufig angewendet. Wir werden die detaillirte Zeichnung dieser Maschine, ihre genauere Berechnung und die Bemerkungen über ihren Gebrauch später liefern.

§. 7.

Die bisher angeführten Sätze folgen sämmtlich bloss aus der B e w e g l i c h k e i t d e r T h e i l e f l ü s s i g e r K ö r p e r. Alle Flüssigkeiten haben jedoch noch eine zweite Eigenschaft, dass sie auch s c h w e r sind, es werden demnach die unteren Theilchen von den oberen gedrückt, und der Druck auf ein Theilchen ist desto grösser, je tiefer es unter der Oberfläche liegt. Betrachten wir das mit einer Flüssigkeit gefüllte Gefäss
Fig. 6. Fig 6, so muss ein jedes Theilchen c auch nunmehr, wenn es in Ruhe ist, von allen Seiten einen gleichen Druck erleiden, und ebenfalls in allen Richtungen gleich stark drücken, indem sonst eine Bewegung erfolgen würde. Wenn wir auf den Druck der äusseren Luft, der sich auf die Oberfläche m n bei einem offenen Gefässe wirksam äussert, keine Rücksicht nehmen, so wird c bloss von allen darüber liegenden Punkten oder von der Wassersäule a c gedrückt, auf gleiche Art wird das Theilchen d von der Wassersäule b d gedrückt u. s. w. Da aber diese Wassersäulen nur für dieselbe horizontale Fläche eine gleiche Höhe haben, so folgt, dass i n j e d e r h o r i z o n t a l e n F l ä c h e a l l e T h e i l e e i n e n g l e i c h e n D r u c k e r l e i d e n m ü s s e n.

Hieraus ergibt sich noch die weitere Eigenschaft, d a s s d a s W a s s e r a n s e i-
Fig. 7. n e r O b e r f l ä c h e i m m e r h o r i z o n t a l s t e h e n m ü s s e, denn würde es eine Erhöhung m n o bilden, so würde der Punkt p von der Wassersäule n p, dagegen m und o als an der Oberfläche befindlich gar nicht gedrückt werden; folglich würde m und o in dieser Lage nicht bleiben, und dem stärkeren Drucke von p aus nachgeben, oder das Wasser sich so lange bewegen müssen, bis es eine horizontale Fläche bildet.

Dasselbe lässt sich auf folgende Art beweisen. Es sey b ein Punkt auf der schiefen Oberfläche des Wassers, so lässt sich der lothrechte Druck b d desselben,

wie bei jedem auf einer schiefen Fläche befindlichen schweren Körper in zwei Theile zerlegen, wovon bc winkelrecht auf die schiefe Fläche, und ba in der Richtung derselben herabwirkt. Der Punkt b als Theil einer flüssigen Masse wird sich daher auf dieser schiefen Fläche nicht erhalten können, sondern mit der Kraft ba herablaufen, und da diess bei jedem andern Punkte der Fall ist, so wird das Wasser so lange herablaufen, bis die Kraft nach der schiefen Richtung = 0 oder die Oberfläche des Wassers horizontal wird, d. h. einen rechten Winkel mit der Lothrechten bildet. Fig. 7. Tab. 41.

Diese Eigenschaft der Flüssigkeiten benützen wir bei unseren Nivellirinstrumenten, die mit Hülfe des Wassers oder Weingeistes horizontal gestellt werden, demnach eine Richtung angeben, welche zu der Oberfläche des Wassers parallel ist.

§. 8.

Um den Druck des Wassers auf bestimmte Flächen angeben zu können, muss man vorerst das Gewicht eines Kubikfusses Wasser kennen. Bei dem französischen Dezimalmaasse wird das Gewicht des reinen oder destillirten Wassers in einem kubirten Centimeter (bei 3° Reaumur Thermometer und 76 Centimeter Barometerhöhe) ein Gramm genannt, und es enthält ein N. Oe. Kubikfuss Wasser 31585,17 kubirte Centimeter, welche demnach 31585,17 Gramm wiegen. Nun ist 1 N. Oe. Pfund Handelsgewicht = 32 N. Oe. Loth = 560012,0 Milligramm = 560,012 Gramm; es wiegt daher ein N. Oe. Kubikfuss destillirtes oder reines Wasser $\frac{31585,17}{560,012} = 56,4009$ N. Oe. Pfund, wofür wir immer 56,4 ℔ setzen werden. Ein N. Oe. Kubikzoll reines Wasser wiegt demnach $\frac{56,4009}{1728}$ ℔ = 1,0445 Loth. Nach den „Versuchen zur Bestimmung des absoluten Gewichtes des Wassers, der Temperatur seiner grössten Dichtigkeit und der Ausdehnung desselben vom „Herrn Professor *Stampfer* in *Wien*" wiegt ein N. Oe. Kubikfuss Wasser bei seiner grössten Dichtigkeit 56,377188 N. Oe. Pfund = 56 ℔ 12 Loth 16,8 Gran (Jahrbücher des k. k. polytechnischen Institutes in Wien, 16. Band, 1830). Auch nach dieser Bestimmung kann bei unsern Berechnungen 1 N. Oe. Kubikfuss Wasser mit 56,4 N. Oe. Pfund angeschlagen werden.

Nennen wir nun B die Breite der horizontalen Bodenfläche eines rechtwinkligen Gefässes, L die Länge desselben, und H die Höhe der Wassersäule über dem Boden im Gefässe, alle diese Dimensionen im N. Oe. Fussmaass ausgedrückt, so ist der lothrechte Druck auf die horizontale Bodenfläche = 56,4 . B . L . H; dieser Druck ist daher dem Gewichte aller Theile gleich, die sich in dem Gefässe befinden. Fig. 8.

Beispiel. Der Boden eines rechtwinkligen Gefässes sey 8 Zoll breit, 16 Zoll lang, die Höhe des Wasserstandes betrage aber 6 Fuss, so ist der lothrechte Druck des Wassers auf den Boden $= \frac{8 . 16}{12 . 12} \cdot 6 . 56,4 = 188$ ℔.

Betrachten wir nun ein Gefäss mit schiefen Wänden, welches sich nach oben zu erweitert. Ein jeder Wassertheil a, der an der schiefen Wand liegt, drückt nach allen Seiten mit einer Kraft, die der Höhe ac entspricht; mit diesem Drucke wirkt der Theil a nach allen Seiten, also sowohl winkelrecht auf die schiefe Fläche, als auch parallel zu derselben auf- und abwärts. Derselbe Druck findet in der gan- Fig. 9.

Fig. 9. Tab. 41. zen Fläche Statt, welche durch den Punkt a horizontal gezogen wird. Es muss daher auch der Punkt n und alle in der horizontalen Bodenfläche liegenden Punkte von einer gleichen Höhe $nx = H$ gedrückt werden. Wird also bloss der lothrechte Druck auf die Bodenfläche gesucht, so drückt auf den Boden des Gefässes bloss der kubische Inhalt n o t z w x y s des Wassers und dieser Druck ist, die Seitenwände mögen was immer für eine Neigung haben, $= 56{,}4 \,.\, F \,.\, H$, wenn wir die Fläche des Bodens mit F und die Höhe der Wassersäule mit H bezeichnen.

Fig. 10. Dasselbe gilt auch von dem Gefässe Fig. 10. Hier wird nämlich der Theil b von der darüber stehenden Wassersäule a b gedrückt, und da b den Druck nach allen Seiten eben so stark fortpflanzt, so wird auch der in derselben horizontalen Ebene liegende Punkt c eben so stark gedrückt. Da c abermal nach allen Seiten gleich stark und zwar mit der Wassersäule a b drückt, so muss d mit $ab + cd$ und aus gleichem Grunde auch e mit dieser Säule gedrückt werden. Auf gleiche Art ergibt sich, dass der Punkt f und auch g nach der senkrechten Richtung herab von der ganzen Höhe $ab + cd + ef = H$ gedrückt werde. Da nun ein jeder Punkt der Bodenfläche von derselben Höhe H gedrückt wird, so beträgt der Druck auf die ganze Bodenfläche $56{,}4 \,.\, B \,.\, L \,.\, H$, wie bei einem nach oben erweiterten Gefässe. Es ist daher überhaupt der lothrechte Druck des Wassers auf eine jede horizontale Bodenfläche = der gedrückten Fläche multiplizirt mit der Höhe des Wassers und mit 56,4 oder dem Gewichte eines Kubikfusses Wasser.

Man hat gegen diesen Satz eingewendet, dass der Druck auf den Boden doch nicht grösser als jenes Gewicht seyn könne, welches man bei dem Aufstellen des Bodens auf die Wagschale findet, und das nur dem Gewichte des eingeschlossenen Wassers gleich kommt. Um diesen Einwurf zu prüfen, lässt man ein Gefäss mit beweg-
Fig. 11. lichem Boden verfertigen, befestigt es mittelst der Anfätze a n und o b auf untergelegten Balken E, F und verbindet den Boden mit einer Wage. Nun wird zuerst das Gewicht des Bodens allein durch das auf die Wagschale gelegte Gewicht g ausgeglichen, und dann untersucht, welches Gewicht g' zur Ueberwältigung der Reibung des Bodens an den Wänden m n und o p erfordert wird. Hierauf wird Wasser in das Gefäss gegossen, und mit dem Gewichte G auf der Wagschale in das Gleichgewicht gebracht. Da das Wasser, wenn es den Boden herabdrücken soll, nicht bloss das Gewicht in der Wagschale G heben, sondern auch die Reibung g' überwältigen muss; so folgt, dass $G + g'$ der wirklich statt findende Druck des Wassers auf den beweglichen Boden sey. Dieser ist genau derselbe, wie ihn die Formel $56{,}4 \,.\, F \,.\, H$ gibt. Man sieht also, dass dem Gewichte des im Gefässe enthaltenen Wassers noch ein Druck zuwächst, welcher aus dem Drucke der schiefen Wandflächen A B und C D auf das Wasser entsteht.

§. 9.

Aus dem Vorhergehenden folgt:

1tens. In communicirenden beiderseits offenen Röhren muss das Wasser zu beiden
Fig. 12. Seiten gleich hoch stehen, sie mögen was immer für eine Gestalt haben. Nehmen wir nämlich den Punkt a an, so wird derselbe einerseits von der Höhe

cd + ef + gh + ik, andererseits aber von lm + no + pq gedrückt, und nur wenn diese Höhen einander gleich (= ab) sind, bleibt der Punkt a in Ruhe.

2tens. Befindet sich in einem communicirenden Rohre auf der einen Seite eine leichtere und auf der andern eine schwerere Flüssigkeit, z. B. Wasser und Quecksilber, von welchem letztern ein Kubikfuss z. B. 13,6 . 56,4 ℔ wiegt, so wird der Druck auf c von Seite des Quecksilbers 13,6 Mal grösser, als von Seite des Wassers seyn; es muss daher für den Zustand der Ruhe die Höhe a o der Wassersäule 13,6 Mal so gross als jene b o der Quecksilbersäule seyn. Fig. 13. Tab. 41.

3tens. Wenn man auf ein mit Wasser gefülltes Gefäss ein Rohr setzt, und es durchaus mit Wasser bei a füllt, so muss der Punkt c im Rohre die darüber stehende Wassersäule a c tragen, indem derselbe von dieser Säule gedrückt wird. Der Punkt o wird aber von der ganzen Höhe ac + co = ao gedrückt, und übt denselben Druck nach allen Seiten aus. Demnach wird ein jeder Punkt an der Bodenfläche mit der Säule ao = H gedrückt und das Produkt 56,4 . F . H gibt uns abermals den ganzen Druck auf die Fläche des Bodens. Fig. 14.

Dieser Satz bleibt auch wahr, wenn man das Rohr nicht von oben, sondern von der Seite anbringt, und weil ein jeder Punkt der Fläche mn von der Säule ao = H gedrückt wird, so muss auch der gesammte Druck, womit diese Fläche mn = F gehoben wird, = 56,4 . F . H seyn. Hierauf beruht die Konstrukzion des sogenannten von *Wolf* angegebenen a n a t o m i s c h e n H e b e r s. Dieser besteht nämlich aus einem blechernen Gefässe, worauf eine thierische Haut oder Blase mn gespannt wird. Schüttet man nun Wasser durch die Röhre a n hinein, so wird die Blase durch den starken Druck des Wassers bedeutend ausgedehnt, und man kann die einzelnen Theile ihrer Textur deutlicher sehen, als es ohne eine solche Ausdehnung möglich wäre. Fig. 15.

Dieser Satz scheint abermals auffallend, weil man, wenn der Boden des Gefässes auf eine Wage gestellt und das Gefäss sammt dem darin befindlichen Wasser abgewogen wird, nach Abschlag des Gewichtes des Gefässes gerade nur so viel findet, als der Kubikinhalt des Wassers wiegt, wogegen nach der aufgestellten Formel der Druck auf den Boden weit mehr, nämlich og . oa beträgt. Dieser Umstand erklärt sich wieder dadurch, dass og . oa der Druck des Wassers herab, und ch . ca = og . ca der Druck des Wassers hinauf, demnach og (oa — ca) der Druck ist, welchen man auf der Wagschale findet, wenn das ganze Gefäss abgewogen wird. Will man jedoch den Druck des Wassers bloss auf die Bodenfläche finden, so muss das Gefäss mit einem beweglichen Boden, wie wir §. 8 angeführt haben, versehen werden, und dann findet man in der That den Druck auf den Boden eben so gross, als das Gewicht einer Wassersäule, welche die Bodenfläche zur Basis, die Höhe bis zum obern Wasserspiegel aber zur Höhe hat. Fig. 14.

Auf demselben Grundsatz, wie der anatomische Heber, beruht auch die R e a l'sche F i l t r i r- oder A u f l ö s u n g s p r e s s e, deren man sich zum Extrahiren der Pflanzenstoffe bedient. Diese besteht nämlich aus einem hohlen Zylinder ABCD mit einem siebförmig durchlöcherten Boden mn, auf welchen der zu extrahirende Körper und hierauf gewöhnlich eine zweite durchlöcherte bewegliche Scheibe op gelegt wird. Der hohle Zylinder wird nun mit einem fest anschliessenden Deckel AB geschlossen, und sodann die im Fig. 16.

Fig. 16. Tab. 41. Deckel befindliche mehrere Fuss hohe Röhre r s mit Wasser gefüllt. Durch den bedeutenden Druck, welchen die hohe Säule verursacht, wird der eingelegte Körper vom Wasser vollkommen extrahirt, und nachdem die Flüssigkeit durch den Hahn E abgelassen wurde, bleibt der Körper gewöhnlich ohne Geschmack und ohne Geruch zurück.

§. 10.

Der winkelrechte Druck des Wassers auf die vertikale Seitenfläche ABCD eines Gefässes ergibt sich auf folgende Art: Da die Fläche
Fig. 17. ABCD senkrecht steht, so liegen zwar keine Theile auf derselben, allein die anliegenden Theile üben einen Seitendruck aus, welcher wegen ihrer Beweglichkeit eben so gross ist, als der Druck, welchen sie senkrecht herab von den auf ihnen liegenden Theilen erfahren. Betrachten wir daher zuerst die Linie A B, so wird der Punkt A als an der Oberfläche befindlich von keiner Höhe, der Punkt B von der ganzen Höhe A B und E von der Höhe A E gedrückt. Um den gesammten Druck auf die Linie A B zu finden, trage man dieselbe seitwärts auf, errichte in B die Linie $BN = AB$, verbinde N mit A, so wird offenbar der Flächeninhalt des Dreieckes A B N dem ganzen Drucke des Wassers auf die Linie A B gleich seyn, und dieser ist $\frac{AB.BN}{2} = \frac{H^2}{2}$. Denselben Druck erfährt aber jede andere Linie der Seitenfläche A B C D, man findet daher den ganzen Druck auf die senkrechte Seitenfläche, indem man $\frac{H^2}{2}$ mit B und 56,4 multiplizirt, oder derselbe ist $= \frac{56{,}4 \,.\, H^2 \,.\, B}{2}$. Da die Fläche der Seitenwand $F = H.B$, so ist der Druck auf dieselbe $= F \cdot \frac{H}{2} \cdot 56{,}4$ d. h. man erhält den Druck auf eine senkrechte rechtwinklige Seitenwand, indem man die Fläche F derselben mit der mittlern Höhe $\frac{H}{2}$ und mit 56,4 multiplizirt.

Beispiel. Dieser Fall kommt bei dem Drucke des Wassers auf senkrecht stehende Mühlenschützen vor. Beträgt die Breite der Schütze $B = 5$ Fuss und die Höhe des Wasserstandes vor derselben $= 3$ Fuss Zoll, so ist der Druck des Wassers, welchen diese Schütze aushalten muss $= 5 \,.\, 3{,}5 \cdot \frac{3{,}5}{2} \cdot 56{,}4 = 1727{,}25$ ℔.

§. 11.

Auf gleiche Weise wird der Druck des Wassers auf eine vertikale Seitenwand gefunden, die eine andere z. B. eine krummlinige Figur bildet. Zertheilen
Fig. 18. wir nämlich die Fläche derselben in mehrere Trapeze, so wird der oberste Punkt des ersten Trapezes von der Höhe UA und der unterste Punkt von $UA + Aa$ gedrückt; demnach ist die mittlere Druckhöhe $= \frac{2\,UA + Aa}{2} = UC$ und der Druck auf dieses Trapez $= f.UC.56{,}4$, wo unter f seine Fläche verstanden wird. Auf gleiche Art ist der Druck auf das zweite Trapez $= f'.UC.56{,}4 \ldots\ldots$, demnach ist der Druck auf die ganze Fläche $= F.UC.56{,}4$. Es sey die Figur ein Kreis, der Halbmesser desselben $= R$, und die Höhe

des Wassers über dem Mittelpunkte der Oeffnung $=$ H, so ist der Druck auf die ganze Oeffnung $= \frac{22}{7} . R^2 . H . 56{,}4$.

Beispiel. In einem Fasse stehe das Wasser 10 Fuss hoch über der Mitte einer 4zölligen Oeffnung, so ist der Druck auf dieselbe $= \frac{22}{7} \cdot \left(\frac{1}{6}\right)^2 . 10 . 56{,}4 = 49{,}24$ ℔. Wenn man daher die Oeffnung mit einem Zapfen schliesst, so muss derselbe so fest stecken, um durch einen Druck von 49¼ ℔ nicht herausgetrieben zu werden.

Da dieser Satz bei jeder Seitenfläche von was immer für einer Gestalt Statt findet, so folgt, dass man den Seitendruck des Wassers auf eine senkrechte Wand berechnet, wenn man die Fläche der Seitenwand mit der Wasserhöhe oberhalb des Schwerpunktes derselben und mit dem Gewichte von 1 Kubikfuss Wasser multiplizirt.

§. 12.

Soll man den **winkelrechten Druck des Wassers auf einen Theil** ABCD **einer vertikalen Fläche** CDFE berechnen, so ziehe man von dem Drucke $CD . EC \cdot \frac{EC}{2} \cdot 56{,}4$, welcher auf die ganze Fläche CDFE Statt findet, den Druck auf ABFE oder $AB . AE \cdot \frac{AE}{2} \cdot 56{,}4$ ab, und man erhält $CD \cdot \frac{EC^2}{2} \cdot 56{,}4 - AB \cdot \frac{AE^2}{2} \cdot 56{,}4$. Fig. 19. Tab. 41.
Da aber bei einer viereckigen Oeffnung CD $=$ AB, so ist dieser Druck

$$= \frac{CD . 56{,}4}{2} (EC^2 - AE^2) = CD . 56{,}4 \left(\frac{EC + AE}{2}\right) (EC - AE) = 56{,}4 . CD . EG . AC =$$

$= F . EG . 56{,}4$, d. h. man erhält abermals den Druck, indem man die Fläche der Oeffnung mit der mittleren Höhe des Wasserstandes und mit 56,4 multiplizirt.

Beispiel. Wird die im §. 10 angeführte Schütze nur 2 Fuss hoch aufgezogen, so ist der Druck des Wassers gegen die Oeffnung, oder die Kraft, mit der das Wasser herausströmt $=$ der Fläche der Oeffnung 5 . 2 multiplizirt mit der Höhe bis zur Mitte der Oeffnung, nämlich 2 Fuss 6 Zoll und mit 56,4, also $= 5 . 2 . 2{,}5 . 56{,}4 = 1410$ ℔.

§. 13.

Der winkelrechte Druck des Wassers auf eine schief stehende Seitenwand wird auf folgende Weise gefunden.

Man zertheilt wie §. 11 die ganze Seitenfläche in schmale Streifen AB, ... Fig. 20.
und berechnet zuerst den Druck auf einen solchen Streifen AB, dessen Breite wir $=$ b setzen; dieser Druck ist offenbar für den untersten Punkt der Wassersäule EB gleich, und wenn EB auf AB winkelrecht aufgetragen und E mit A verbunden wird, so ist der Druck auf AB im Gefässe eben so gross, als der Kubikinhalt des verzeichneten Körpers EBA; es ist nämlich für jeden andern auf gleicher Entfernung AO $=$ AM liegenden Punkt die drückende Höhe OP $=$ NM. Demnach ist $\frac{AB . BE . b . 56{,}4}{2}$ der Druck auf den Streifen AB und da dieser Druck auf einen jeden andern Streifen der Fläche ABCD eben so gross ist, so beträgt der Druck auf die ganze Fläche $\frac{AB . BE . BC . 56{,}4}{2}$. Es ist aber

Fig. 20. Tab. 41. AB.BC die Fläche der Seitenwand und $\frac{BE}{2} = \frac{H}{2}$ die halbe Höhe über dem untersten Punkt oder die mittlere Höhe, folglich ist der vertikale Druck auf die ganze Seitenfläche $= \frac{F.H}{2} \cdot 56{,}4$.

§. 14.

Fig. 21. **Der Druck des Wassers auf eine Oeffnung BCEF in einer schiefen Seitenwand ADBC** ergibt sich nunmehr leicht. Nach dem Vorhergehenden beträgt nämlich der Druck auf die ganze Seitenwand $\frac{AB.BC.BG.56{,}4}{2}$ und der Druck auf ADFE ist $= \frac{AE.EF.EK.56{,}4}{2}$; folglich ist der Druck auf die Oeffnung

$$BEFC = \frac{AB.BC.BG.56{,}4}{2} - \frac{AE.EF.EK.56{,}4}{2} = \frac{BC.56{,}4}{2}(AB.BG - AE.EK).$$

Da nun $AE:EK = AB:BG$ und $EK = \frac{AE.BG}{AB}$, so ist der Druck

$$= \frac{BC.56{,}4}{2}\left(AB.BG - \frac{AE^2.BG}{AB}\right) = \frac{56{,}4}{2}.\frac{BC.BG}{AB}(AB^2 - AE^2)$$

$$= 56{,}4 . \frac{BC.BG}{AB}\left(\frac{AB + AE}{2}\right)(AB - AE).$$ Nun ist $\frac{AB + AE}{2} = \frac{AE + EB + AE}{2}$ $= AE + EM = AM$, wenn M die Mitte von BE ist, folglich der Druck $= \frac{56{,}4.BC.BG.AM.EB}{AB}$. Da endlich $AB:BG = AM:MN$ oder $MN = \frac{BG.AM}{AB}$, so ist der Druck $= 56{,}4.BC.MN.EB$ wie §. 12. **Man findet daher den winkelrechten Druck des Wassers auf eine jede sowohl gerade als schiefe Fläche, oder auch auf einen Theil derselben, indem man die gedrückte Fläche mit der Höhe des Wassers oberhalb des Schwerpunktes der Fläche und mit 56,4 multiplizirt.**

§. 15.

Aus diesen Rechnungen ersieht man, dass der winkelrechte Druck des Wassers auf eine Seitenfläche jedesmal grösser sey, als das Gewicht des über dieser Fläche stehenden Wassers. Die Ursache hievon liegt in der **Beweglichkeit der Wasser-Theile** und in dem **gleichen Drucke derselben nach allen Seiten**. Dem zufolge wird der Punkt b einer vertikalen Seitenwand, obgleich kein Wasser über dieser Wand steht, doch mit der Höhe ab gedrückt; denn der zunächst an den Punkt b der Wand anliegende Wassertheil wird von der Höhe ab gedrückt, und drückt eben so stark nach allen Seiten, also auch senkrecht gegen die Seitenwand. Es ist daher eben so, als wenn der Punkt b derselben von bc und die ganze Fläche ad von dem Gewichte des Wasserprisma aed gedrückt würde. Aus gleichem Grunde wird Fig. 23 die schiefe Seitenwand mn von dem Gewichte des Wasserprisma mno gedrückt, wobei np = on ist. Dieser Druck ist daher viel grösser, als das Gewicht des über der Wand mn stehenden Wasserkörpers mnp.

(Fig. 22. / Fig. 23. in the margin)

Beispiel. Nehmen wir ein rechtwinkliges Gefäss an, wovon jede Seite einen Fuss misst, so ist für den Fall, als dasselbe ganz mit Wasser gefüllt ist, der Druck auf die horizontale Bodenfläche = 1.1.1.56,4 = 56,4 ℔ und der Druck desselben Wassers

auf jede Seitenwand $=1.1.\frac{1}{2}.56{,}4=28{,}2$ ℔, demnach auf alle vier Seitenwände $=4.28{,}2=112{,}8$ ℔. Der Druck auf die Bodenfläche und die 4 Seitenwände beträgt daher 169,2 ℔, während das Gewicht des im Gefässe enthaltenen Wassers nur 56,4 ℔ oder der dritte Theil jenes Gesammtdruckes ist.

§. 16.

Nach dem Vorhergehenden ist der Druck des Wassers auf eine jede Seitenwand oder $D=\frac{56{,}4.B.H.L}{2}$. Dieser Druck geschieht offenbar **winkelrecht** auf die schiefe Fläche der Seitenwand und kann in D', womit die Wand vom Wasser horizontal herausgedrückt, und in D'' womit selbe senkrecht herabgedrückt wird, zerlegt werden. Da nun $D:D'=L:H$, so ist $D'=\frac{D.H}{L}=56{,}4.B.H.\frac{H}{2}$, oder **der horizontale Druck des Wassers auf eine schiefe Seitenwand ist eben so gross, als der Druck auf die senkrechte Wand von gleicher Höhe.** Es hat daher die Neigung der schiefen Fläche auf den horizontalen Druck keinen Einfluss, indem derselbe auf die Flächen ae, be, ce gleich ist. Dasselbe findet aber auch bei der krummen Seitenwand dfe Statt, indem man sie aus sehr vielen geraden Linien zusammengesetzt denken kann. Die Figur eines Gefässes hat daher auf den horizontalen Druck des Wassers keinen Einfluss und es können auch die Wände eines Gefässes von dem darin enthaltenen Wasser in keinem Falle von einer Seite mit einer grösseren Kraft als von der andern verschoben werden. Aus gleicher Ursache folgt auch, dass jeder in das Wasser eingetauchte Körper von demselben nach keiner Seite bewegt werden könne. Fig. 24. Tab. 41. Fig. 25.

Der senkrechte oder lothrechte Druck D'' des Wassers auf die Seitenwand ergibt sich aus der Proportion $D'':D=AC:L$ oder $D''=\frac{D.AC}{L}=56{,}4.B.\frac{H}{2}.AC$. Nun ist $AC\times\frac{H}{2}$ der Flächeninhalt des Dreieckes ACO und $AC\cdot\frac{H}{2}\cdot B$ der kubische Inhalt des darüber senkrecht stehenden Wassers; es folgt daher, dass **der senkrechte Druck des Wassers auf eine jede Seitenwand dem Gewichte des darüberstehenden Wassers gleich sey.** Fig. 24.

Dass die Grösse des Druckes nicht von der Menge der Flüssigkeit in dem Gefässe abhängt, versteht sich von selbst; der Druck auf eine Schütze ist daher derselbe, sie mag an einem kleinen Wasserbehälter oder an den Ufern eines grossen Teiches angebracht seyn, vorausgesetzt, dass das Wasser in beiden Fällen sich ruhig befindet, und ein Kubikfuss dasselbe Gewicht hat. Da der Druck des Wassers nur von der gedrückten Fläche und von der Druckhöhe abhängt, so kann derselbe in vielen Fällen sehr gefährlich werden. Diess findet z. B. bei einer Schleusse statt, wenn das Oberwasser durch eine in der Spundwand vorhandene Oeffnung mit dem Raume unter dem Schleussenboden in Verbindung steht und denselben anfüllt. Bleibt hier die Verbindung des Wassers durch eine noch so kleine Oeffnung hergestellt, so kann der Druck desselben ausserordentlich gross werden. Es sey zum Beispiele der Unterschied der Wasserspiegel oder die Druckhöhe $=8$ Fuss, und der Boden 9 Fuss breit und 60 Fuss lang, so ist die Kraft, womit die Bodenfläche gehoben wird $=8.9.60.56{,}4=243648$ ℔, oder $2436\frac{1}{2}$ Ztner. Nehmen wir auf gleiche

Weise an, das Wasser steige durch Quellen hinter eine 9 Fuss hohe und 100 Klafter lange Terrasenmauer nur 6 Fuss hoch, so ist der hieraus entstehende Druck = 600 . 6 . 3 . 56,4 = 609120 ℔ = 6091,2 Zentner, welchen nun die Stabilität der Mauer auszuhalten hat. Hieraus ergibt sich, wie sorgfältig man durch Spundwände, Feststampfen der Erde und andere Mittel den Zutritt des Wassers unter Böden, hinter Mauern verhindern und sich gegen den aufwärtigen Druck sichern müsse.

§. 17.

Die vorhergehenden Berechnungen dienen dazu **die Stärke der Schützen** in einem jeden gegebenen Falle zu bestimmen, damit sie dem Drucke des Wassers gehörig widerstehen können. Soll nämlich der Ablaufkanal eines Teiches oder das Fluder einer Mühle durch eine Schütze geschlossen werden, und ist die Höhe des Wassers über der Mitte der Oeffnung und die Fläche der Oeffnung gegeben, so muss die Schütze immer so berechnet und angelegt werden, dass sie den Druck dieses Wassers auszuhalten im Stande ist.

Fig. 26. Tab. 41. Es sey Fig. 26 die perspektivische Ansicht der Schütze, die Breite derselben von einem Schützenbaum zum andern oder die Länge, auf welcher die Pfosten frei aufliegen, $AB = L$, ihre Länge der Schützenöffnung nach, oder ihre Tiefe $= T$, die Stärke der Schütze oder Höhe der Pfosten $= x$ und die Höhe des Wassers über der Mitte der Oeffnung $= H$, so ist $56{,}4 . L . T . H$ der Druck des Wassers oder die Last, welche die Fläche der Schütze zu erhalten hat. Diese Last ist auf der ganzen Fläche der Schütze gleichförmig vertheilt. Es ist daher (nach §. 333 Band I.) in Hinsicht auf die Biegung der Schützenpfosten derselbe Fall, als wenn bloss $^5/_8$ dieser Last in der Mitte derselben angebracht sind. Nehmen wir an, dass bei diesen Pfosten eine Biegung von 1 : 288 Statt finden darf, und dass selbe von Eichenholz hergestellt werden, so haben wir nach §. 325 I. B. die Gleichung $^5/_8 . 56{,}4 . L . T . H = 17607 . 144 . \frac{T . x^3}{L^2}$, worin mit 144 multiplizirt wurde, weil der Koëfizient 17607 für T, x, L in Zollen berechnet wurde, während diese Werthe hier in Fussen substituirt werden. Hieraus folgt $x = 0{,}024 . L . \sqrt[3]{H}$ oder in Zollen $x = 0{,}288\, L . \sqrt[3]{H}$, wo L und H in Fussen zu setzen sind; es kommt daher vorzüglich auf die Länge der Pfosten, wie weit dieselben frei aufliegen, und dann auf die Höhe des Wasserstandes über der Schütze an.

Beispiel. Bei sehr grossen Bergwerksteichen, deren z. B. mehrere in Ungarn zur Betreibung von Pochwerken, Schlemmwerken u. s. w. angelegt sind, beträgt die Höhe des Wasserstandes $H = 60$ Fuss. Nehmen wir die Weite des Ablaufkanales im Lichten $L = 3$ Fuss an, so ist die nothwendige Stärke der eichenen Pfosten der Schütze $x = 0{,}288 . 3 \sqrt[3]{60} = 3{,}4$ Zoll.

§. 18.

Auf gleiche Weise lässt sich auch die **Kraft** berechnen, welche **zum Aufzuge dieser Schütze erfordert wird.** Das Aufziehen der gewöhnlichen Schützen geschieht durch Anwendung eines einfachen Hebebaumes. Bei sehr hohen Wasserständen wird aber die hölzerne Schütze mit einer starken oben gezähnten eisernen Stange verbunden, in welche ein Getrieb eingreift, welches durch ein Spillen- oder Tretrad oder

auch durch einen blossen Hebel bewegt wird. Es sey der Halbmesser dieses Rades Fig. 27. Tab. 41. $= d$, der Halbmesser des Getriebes $= c$, und die Kraft am Ende des Hebels oder am Umfange des Spillenrades $= n \cdot K$. Der Reibungskoëffizient kann für die Bewegung der Schütze auf den unterliegenden Balken wenigstens mit 0,5 angenommen werden, da hier keine Abglättung möglich ist. Nehmen wir nun in dem Beispiele des vorigen §. die mittlere Höhe des Wassers über der Schütze $= 60$ Fuss, die Breite derselben im Lichten $= 3$ Fuss und die Höhe oder Tiefe der Schütze $= 4$ Fuss an, so ist der Druck des Wassers auf die ganze Fläche der Schütze $= 60 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 56{,}4 = 40608$ ℔ und man hat für das Aufziehen derselben die Gleichung zwischen Kraft und Last $\frac{1}{2} \cdot 40608 \cdot c = n \cdot K \cdot d$. Weil man aber die Kraft der Menschen, welche hier nur eine kurze Zeit wirken, mit 100 ℔ anschlagen kann, so ist $\frac{1}{2} \cdot 40608 \cdot c = n \cdot 100 \cdot d$ oder $203{,}04 \cdot c = n \cdot d$.

Da die Getriebe von Eisen sind, so wird die Stärke eines Triebstockes gewöhnlich mit 1 Zoll, und der Abstand für den Zahn sammt Spielraum $= \frac{1}{4}$ Zoll angenommen; ist daher das Getriebe ein Sechser, so hat man $c = \frac{9}{4}$ Zoll $= \frac{3}{16}$ Fuss. Hat ferner das Spillenrad oder der Hebel einen Halbmesser von 9 Fuss, so ist $203{,}04 \cdot \frac{3}{16} = n \cdot 9$, woraus die Anzahl der erforderlichen Arbeiter $n = 4{,}2$ folgt. Man muss demnach entweder 4 stärkere oder 5 schwächere Menschen zu diesem Aufzuge anstellen. Wäre der Halbmesser von 9 Fuss für das Spillenrad zu gross, und man wollte nicht mehr Menschen anstellen, so müsste der Aufzug mit einem Vorgelege eingerichtet werden. Man könnte auch zu gleichem Behufe den Mechanismus nach Art eines englischen Hebers einrichten, wobei die Zugstange der Schütze eben so aufgeschraubt wird, als es bei dem Heben der Lasten der Fall ist.

§. 19.

Nach den bisherigen Grundsätzen können wir nun auch die Stärke der Wasserröhren in jedem gegebenen Falle bestimmen. Die Röhren, in welchen das Wasser geleitet wird, sind offenbar Seitenflächen, welche das Wasser verschliessen und daher von demselben einen Druck zu erleiden haben. Es entsteht nun die für die Ausübung wichtige Frage, wie dick oder stark die Röhren seyn müssen, damit sie diesem Drucke hinlänglichen Widerstand leisten, und nicht bersten.

Betrachten wir Fig. 1. das Querprofil einer Wasserleitungsröhre, so ist offenbar, Fig. 1. Tab. 42. dass das Wasser auf alle Punkte ihrer Peripherie senkrecht drücke. Wird die Summe dieser Drücke zu gross, so zerspringt die Röhre, wobei der Theil ober der Linie $\alpha\beta$ von jenem unter dieser Linie abgerissen wird; wir müssen demnach vorerst den Druck des Wassers auf die Röhre bestimmen und sodann derselben eine solche Stärke geben, dass sie diesem Drucke zu widerstehen im Stande sey. Wir wollen zu diesem Behufe die Peripherie der Röhre in mehrere kleine Theile mn, nt, tr..... zerlegen und den winkelrechten Fig. 2. Druck auf einen solchen Theil durch DE vorstellen. Dieser Druck wird erhalten, wenn man die Breite mn mit der Länge $mb = 1$ des Röhrenstückes, dann mit der Höhe des Wasserstandes H über dem Schwerpunkte dieser kleinen Fläche und mit 56,4 multiplizirt, oder Fig. 3. es ist $DE = mn \cdot 1 \cdot H \cdot 56{,}4$, wie man am deutlichsten in Fig. 3. sieht.

Da wir annehmen, dass die Röhre in der Linie $\alpha\beta$ zerreisst, so kann man den Druck Fig. 2. DE in einen horizontalen DF und in einen senkrechten DG auflösen. Es geht demnach die horizontale Kraft DF verloren, und es bleibt bloss DG oder der senkrechte Druck des Was-

Fig. 2. Tab. 42. sers auf das Element m n übrig. Um diesen zu berechnen, lasse man aus den Punkten m und n die Senkrechten m p und n q auf den Durchmesser herab, und ziehe m o horizontal, so sind die Dreiecke m n o und G D E einander ähnlich, demnach G D : E D = m o : m n und wenn der Werth für den winkelrechten Druck substituirt wird,

G D : m n . l . H . 56,4 = m o : m n, woraus, da m o = p q ist, G D = l . H . 56,4 . p q folgt, welches die Kraft ist, womit das Element m n senkrecht zur Linie $\alpha\beta$ in die Höhe gehoben wird.

Sucht man auf dieselbe Art für das nächste Element n t ebenfalls den senkrechten Druck auf die Linie $\alpha\beta$, so ist derselbe = q s . l . H . 56,4 und für das 3te Element t r ist dieser Druck = s u . l . H . 56,4, u. s. w. Addirt man diese Drücke zusammen, so ist ihre Summe = (p q + q s + s u) l . H . 56,4. Wird der senkrechte Druck auf alle Elemente im halben Kreise gesucht, so übergeht p q + q s + s u in den Durchmesser D der Röhre im Lichten, und wir erhalten den ganzen Druck auf die halbe Röhre = D . l . H . 56,4.

Soll die Röhre nicht zerreissen, so muss die absolute Festigkeit derselben diesen Druck aushalten. Es sey daher die Stärke der Röhre = X, so ist die auf beiden Seiten zu zerreissende Fläche derselben = 2 X . l. Hat man durch irgend einen Versuch für denselben Körper, woraus die Röhre verfertigt wurde, gefunden, dass die Fläche f durch das Gewicht P zerrissen wird und nimmt man an, dass bei unserer Röhre die Fläche 2 X . l wirklich von dem Drucke des Wassers D . l . H . 56,4 zerrissen wird, so gibt diess die Proportion f : P = 2 X . l : D . l . H . 56,4. Diese Proportion findet aber nicht nur für den Fall des Zerreissens Statt, sondern sie gilt auch wenn die Röhren dem Drucke noch hinlänglichen Widerstand leisten, nur muss sodann der Versuch auch für den Fall bestimmt werden, wo die Fläche f das Gewicht P noch hinlänglich aushielt oder trug. Hieraus folgt nun die nöthige Stärke der Röhre $X = \frac{f}{2P} \cdot D . H . 56{,}4$. Für eine andere Röhre von demselben Material aber ungleichem Durchmesser d und Druckhöhe h ist $x = \frac{f}{2P} \cdot d . h . 56{,}4$ demnach X : x = D . H : d . h, oder die Stärken gleichartiger Röhren verhalten sich wie die Produkte ihrer Durchmesser (im Lichten gemessen) in die Druckhöhen des Wassers.

§. 20.

Um die Stärke der Röhren in einem gegebenen Falle bestimmen zu können, muss man erst durch Versuche die Grössen f, P oder x, d, h für eine jede Materie bestimmen.

Nach dem Versuche von *Musschenbroeck* (§. 278. I. Band,) mit Bleidraht wird ein N. Oe. Quadratzoll von 3326 N. Oe. Pfund zerrissen, wir haben daher durch Substitution in der, im vorigen §. gefundenen Proportion: $\frac{1\,\square'}{144} : 3326\,\text{℔} = 2\,x' . 1' : D' . 1' . H' . 56{,}4\,\text{℔}$ und

$$x' = \frac{D' . H' . 56{,}4}{144 . 2 . 3326}, \text{ oder x in Linien} = \frac{D' . H' . 56{,}4}{2 . 3326}, \text{ oder } x''' = \frac{D'' . H' . 56{,}4}{12 . 2 . 3326} = \frac{D'' . H'}{1415}$$

Bei dieser Stärke würde eine bleierne Röhre zerreissen; es muss daher die Stärke entweder weit grösser gemacht werden, oder man muss dieselbe nach Versuchen mit Röhren bestimmen, die einen bestimmten Druck des Wassers aushielten. Ueber bleierne Röhren hat der Civilingenieur *Jardine* zu *Edinburgh* mehrere genaue Versuche angestellt, welche in *Dingler's* polytechnischem Journale, Band XIX., 1826, Heft I. Seite 79

enthalten sind. Bei dem ersten Versuche hatte die Röhre $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser und $\frac{1}{5}$ Zoll Dicke; das Metall war bedeutend weich und biegsam. Die Röhre trug eine Wassersäule von 1000 Fuss Höhe ohne alle Veränderung, bei 1200 Fuss Höhe fing sie an zu schwellen, und barst bei 1400 Fuss Druckhöhe. Als man die Röhre nach dem Versuche mass, fand man sie in ihrem Durchmesser von $1\frac{1}{2}$ Zoll auf $1\frac{3}{4}$ Zoll erweitert. Bei einem zweiten Versuche hielt die Röhre 2 Zoll im Durchmesser und hatte $\frac{1}{5}$ Zoll Metalldicke; sie ertrug den Druck einer Wassersäule von 800 Fuss Höhe, ohne dabei zu schwellen; barst aber bei einem Drucke von 1000 Fuss Höhe. Alle diese Angaben sind im englischen Maasse, wobei 1 engl. Fuss $=$ 0,9642 N. Oe. Fuss.

Nehmen wir den Fall des Berstens bei der ersten Röhre an, so ist $\frac{0{,}9642 \,.\, 1{,}5 \,.\, 1400'}{m} = 0{,}2'' \,.\, 12$, woraus $m = 844$. Bei der zweiten Röhre ist $\frac{0{,}9642 \,.\, 2'' \,.\, 1000'}{m} = 0{,}2'' \,.\, 12$, woraus $m = 804$ Diese zwei Versuche geben daher für das Zerspringen der Röhren $X''' = \frac{D'' \,.\, H'}{844}$ und $X''' = \frac{D'' \,.\, H'}{804}$, wogegen die Stärke aus den oben angeführten *Musschenbroeck*'schen Versuchen mit Bleidraht bloss $X''' = \frac{D'' \,.\, H'}{1415}$ folgte. Wenn wir jedoch bemerken, dass in dem Drahte nur das zäheste Blei enthalten sey, wogegen vom Hrn. *Jardine* nur gegossene Röhren versucht wurden, so sehen wir, dass diese Erfahrungen wohl beiläufig übereinstimmen. Da unsere Röhren bei dem vorhandenen Drucke nicht bersten, sondern denselben gehörig aushalten müssen, so muss man die gefundene Stärke wenigstens dreifach nach der Meinung des Hrn. *Jardine*, oder besser vierfach annehmen; wir erhalten daher zur Bestimmung der Stärke bleierner Röhren die Gleichung $X''' = \frac{D'' \,.\, H'}{200}$, d. i. man findet die Stärke in Linien, wenn man den Durchmesser (im Lichten) der Röhre in Zollen mit der Druckhöhe in Fussen multiplizirt und das Produkt mit 200 dividirt.

Eine Reihe hieher gehöriger Erfahrungen finden wir in dem Werke: „*Essai sur les* „*moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux, par M. Genieys, ingénieur* „*au corps royal des ponts et chaussées, Paris* 1829, Seite 177". Der Verfasser dieses Werkes bemerkt, dass man bei der Bestimmung der Stärke der Röhren nicht bloss auf den hydrostatischen Druck, welchen dieselben auszuhalten haben, sondern auch auf den Umstand Rücksicht nehmen muss, dass das Wasser in jeder Röhrenleitung mit einer bestimmten Geschwindigkeit fliesse, demnach bei schneller Schliessung eines Hahnes, wodurch seine Bewegung augenblicklich unterbrochen wird, einen bedeutenden Stoss auf die Wände der Röhre (auf ähnliche Art, wie bei einem hydraulischen Widder, dessen Einrichtung wir später kennen lernen werden) ausübe; da überdiess bleierne Röhren, wenn sie in salpetrige Erde kommen, angegriffen werden, so müsse man zu der aus der Formel gefundenen Stärke immer noch 0,0045 *mèt.* $=$ 2 pariser Linien addiren. Herr *Genieys* gibt demnach mit Rücksicht auf die bei den Wasserleitungen in *Paris* und *Versailles* vorhandenen Erfahrungen die Formel $e = 0{,}005\, n \,.\, d + 0{,}0045$ zur Bestimmung bleierner Röhren an, worinn die Stärke derselben e und der Durchmesser im Lichten d in *mètern* zu nehmen sind, n aber der Anzahl Atmosphären, eine jede zu 10 *mètern* gerechnet, als der drückenden Säule gleichkommt. Nun ist 1 *mèter* $=$ 3,1635 N. Oe. Fuss, demnach die An-

zahl Atmosphären $n = \frac{n \cdot H}{H} = \frac{h'}{3{,}1635 \cdot 10}$, wo h′ die Druckhöhe in Fussen vorstellt. Wird die obige Formel weiter so reduzirt, dass die Stärke e in N. Oe. Linien und der Durchmesser d in N. Oe. Zollen zu setzen kommt, so erhalten wir:
$\frac{e''' \cdot 3{,}1635}{12 \cdot 12} = 0{,}005 \cdot \frac{h'}{3{,}1635 \cdot 10} \cdot \frac{d'' \cdot 3{,}1635}{12}$ oder $e''' = \frac{d'' \cdot h'}{527} + 2{,}05'''$, wo $2{,}05'''$ die additionelle Stärke ist. Da aber Herr *Genieys* für den Gebrauch dieser Formel fordert, dass die Druckhöhe statt 15 bis 20 *mèt.*, welche bei den Wasserleitungen in *Paris* Statt findet, mit 100 substituirt, und die Röhren auf diese Druckhöhe probirt werden, so müssen wir auch, um in der Formel die wirklich vorhandenen Druckhöhen substituiren zu können, vorerst den Nenner oder die Zahl 527 mit $\frac{100 \cdot 2}{15 + 20}$ dividiren, und wir erhalten $e''' = \frac{d'' \cdot h'}{92} + 2{,}05'''$. Das erste Glied dieser Formel stimmt mit den, über diesen Gegenstand von *Mariotte* gemachten Versuchen sehr nahe überein. Man findet daher die nothwendige Stärke einer bleiernen Röhre in Linien, wenn man den Durchmesser derselben in Zollen mit der Druckhöhe in Fussen multiplizirt, das Produkt mit 92 dividirt, und zu dem erhaltenen Quotienten noch die Zahl 2,05 addirt. Da diese Formel auf sehr vielen Erfahrungen, welche man bei den Wasserleitungen in *Paris* und *Versailles* gemacht hat, beruht; so kann dieselbe wohl mit Verlässlichkeit in der Ausübung gebraucht werden. Zur besseren Uebersicht dieses Gegenstandes haben wir in der nachstehenden Tabelle die ausfallenden Stärken für verschiedene Durchmesser und Druckhöhen zusammengestellt.

Durchmesser der Röhren im Lichten.	Druckhöhe des Wassers in Fussen:									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	Dicke der Röhren in Linien:									
1 Zoll	2,59	3,14	3,68	4,22	4,77	5,31	5,85	6,40	6,94	7,48
2 „	3,14	4,22	5,31	6,40	7,48	8,57	9,66	10,75	11,83	12,92
3 „	3,68	5,31	6,94	8,57	10,20	11,83	13,46	15,09	16,72	18,35
4 „	4,22	6,40	8,57	10,75	12,92	15,09	17,27	19,44	21,62	23,79
5 „	4,77	7,48	10,20	12,92	15,64	18,35	21,07	23,79	26,51	29,22
6 „	5,31	8,57	11,83	15,09	18,35	21,62	24,83	28,14	31,40	34,66
7 „	5,85	9,66	13,46	17,27	21,07	24,88	28,68	32,48	36,29	40,09
8 „	6,40	10,75	15,09	19,44	23,79	28,14	32,48	36,83	41,18	45,53
9 „	6,94	11,83	16,72	21,62	26,51	31,40	36,29	41,18	46,07	50,96
10 „	7,48	12,92	18,35	23,79	29,22	34,66	40,09	45,53	50,96	56,40

Mit Hülfe dieser Tabelle wird man nun im Stande seyn, die nothwendige Stärke und demnach auch das Gewicht der Röhren in einem jeden gegebenen Falle zu bestimmen. Es ist übrigens bekannt, dass bleierne Röhren in Sanitätshinsicht den gusseisernen nachstehen und auch im Anschaffungspreise theurer zu stehen kommen.

§. 21.

Hinsichtlich der Bestimmung der **Stärke gusseiserner Röhren** haben wir bereits im I. Bande, §. 254 angeführt, dass eine Fläche von 1 N. Oe. Quadratzoll Gusseisen beiläufig von 160 N. Oe. Zentner zerrissen wird. Substituiren wir diese Werthe in die §. 19 abgeleitete Proportion, so ergibt sich $X''' = \frac{D''.H'.56{,}4}{2.12.16000} = \frac{D''.H'}{6809}$. Bei dieser Stärke würden jedoch die Gusseisenröhren zerreissen; wir müssen sie daher wieder bedeutend stärker machen. Diess ist hier um so nothwendiger, als das Gusseisen bei der gewöhnlichen einmaligen Schmelzung nicht immer hinlänglich rein ausfällt; sodann werden die Röhren in Sand geformt und erhalten bei wiederholtem Gebrauche derselben Formtruhen wegen Versetzung des Kernes nicht immer die gleiche Dicke; sind endlich gusseiserne *Röhren* sehr schwach, z. B. nur $^1/_4$ Zoll dick, so lassen sie häufig sogar das Wasser durchsintern. Aus diesen Gründen kann man die Stärke gusseiserner Röhren beiläufig **achtmal** grösser, als sie die obige Formel gibt, annehmen; wir erhalten daher $X''' = \frac{D''.H'}{851}$, wobei aber zu bemerken, dass ihre Stärke wegen den angeführten Mängeln des Gusses immer wenigstens mit 4 Linien angenommen werden muss, im Falle sie auch durch die Formel geringer ausfällt.

Herr *Genieys* hat in dem genannten Werke Seite 178 abermals die bei den Pariser Wasserleitungen nach der Erfahrung gefundenen Stärken angeführt, und hieraus die Formel $e = 0{,}0007\,n.\,d + 0{,}01$ abgeleitet, wo abermals $0{,}01$ *mèt.* $= 4{,}56$ N. Oe. Linien die additionelle oder auch die kleinste Stärke gusseiserner Röhren ist. Wird hier die Redukzion wie bei den bleiernen Röhren gemacht, so erhalten wir $e''' = \frac{d''.h'}{3766} + 4{,}56$; weil aber diese Formel wieder nur für die Pariser Wasserröhren gilt, die vor ihrem Gebrauche auf einen Druck von 100 *mèt.* Wassersäule geprüft werden, während sie in der That nur einen Druck von 15 bis 20 *mèt.* auszuhalten haben, so muss der Nenner eben so wie oben mit $\frac{200}{35}$ dividirt werden, diess gibt sonach den Ausdruck für die Stärke gusseiserner Röhren $e''' = \frac{d''.h'}{659} + 4{,}56$. Hiernach ist abermals folgende Tabelle berechnet worden:

Durchmesser der Röhren im Lichten	Druckhöhe des Wassers in Fussen:											
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
	Dicke der Röhren in Linien:											
1 Zoll	4,64	4,71	4,79	4,86	4,94	5,02	5,09	5,17	5,24	5,32	5,39	5,47
2 „	4,71	4,86	5,02	5,17	5,32	5,47	5,62	5,77	5,93	6,08	6,23	6,38
3 „	4,79	5,02	5,24	5,47	5,70	5,93	6,15	6,38	6,61	6,84	7,06	7,29
4 „	4,86	5,17	5,47	5,77	6,08	6,38	6,68	6,99	7,29	7,59	7,90	8,20
5 „	4,94	5,32	5,70	6,08	6,46	6,84	7,22	7,59	7,97	8.35	8,73	9,11
6 „	5,02	5,47	5,93	6,38	6,84	7,29	7,75	8,20	8,66	9,11	9,57	10,02
7 „	5,09	5,62	6,15	6,68	7,22	7,75	8,28	8,81	9,34	9,87	10,40	10,93
8 „	5,17	5,77	6,38	6,99	7,59	8,20	8,81	9,42	10,02	10,63	11,24	11,84
9 „	5,24	5,93	6,61	7,29	7,97	8,66	9,34	10,02	10,71	11.39	12.07	12,75
10 „	5,32	6,08	6,84	7,59	8,35	9,11	9.87	10,63	11,39	12 15	12,91	13.66
11 „	5,39	6,23	7,06	7,90	8,73	9,57	10,40	11,24	12,07	12,91	13,74	14,58
12 „	5,47	6,38	7,29	8,20	9,11	10,02	10,93	11,84	12,75	13,66	14,58	15,49

Nach dieser Tabelle können nun die Stärken und die Gewichte gusseiserner Wasserröhren in jedem Falle ausgemittelt werden. Vor dem Gebrauche sollte jedoch eine jede Röhre auf den sechs- bis achtfachen Druck geprüft werden, um sich zu überzeugen, ob keine Fehler im Gusse vorhanden sind.

Bei den gusseisernen Wasserleitungsröhren in Prag ist die Druckhöhe 16 bis 18 N. Oe. Klafter, (im Mittel 102 Fuss), der Durchmesser der Röhren beträgt zunächst den Wasserthürmen 4 Zoll und weiter entfernt 3 Zoll, die Dicke der Röhren aber 5 Linien, welches mit der obigen Tabelle vollkommen übereinstimmt.

§. 22.

Röhren von Blech oder gewalztem Eisen werden bei Wasserleitungen wegen der Schwierigkeit ihrer Zusammensetzung nicht angewandt; dagegen werden sie bei Recipienten und Dampfkesseln gebraucht. Für diese Röhren stellt Herr *Genieys* die Gleichung $e = 0{,}0005\, n \,.\, d + 0{,}003$ auf, woraus nach gehöriger Redukzion $e''' = \frac{h' \,.\, d''}{5273} + 1{,}367'''$ folgt.

Auch über steinerne Röhren führt Herr *Genieys* Versuche an, und leitet hieraus die Gleichung $e''' = 0{,}05\, n \,.\, d$ für natürliche Steine her, woraus $e''' = \frac{h' \,.\, d''}{52{,}7}$ folgt. Auf gleiche Art bestimmt er die Stärke der Röhren von künstlichen Steinmassen oder Cementen, nämlich einer Mischung aus Quarzsand und hydraulischem Mörtel (der im Wasser bindet) aus der Gleichung $e = 0{,}10\, n \,.\, d$, woraus $e''' = \frac{h' \,.\, d''}{26{,}4}$ folgt. In unsern Gegenden werden auch Röhren von Steingut verfertigt und bei geringen Druckhöhen angewendet; man rühmt von denselben vorzüglich die Reinheit und den frischen Zustand des Wassers. Ihre Stärke dürfte ohne Anstand nach der letzten Gleichung zu berechnen seyn.

Hölzerne Röhren faulen bald in der Erde, und können wegen dem geringen Zusammenhange der Jahresringe unter einander nur bei kleineren Druckhöhen angewendet werden. Die Wasserleitungsröhren in *London* und *Paris* waren vormals durchaus von Holz, als man jedoch später Dampfmaschinen zur Bewegung des Wassers in diesen Wasserleitungen aufstellte, zersprengte der grössere Druck die Röhren und man war genöthigt, sie durchaus mit gusseisernen zu vertauschen. Bloss diese sind dermalen in *London* und *Paris* im Gebrauche. Herr *Genieys* nimmt die kleinste Stärke, welche man hölzernen Röhren geben kann mit 0,027 *mèt.* an, und leitet mit Zuhülfnahme der Erfahrung hieraus die Gleichung $e = 0{,}833\, n \,.\, d + 0{,}027$ her. Die gehörige Redukzion gibt abermals $e''' = \frac{h' \,.\, d''}{3{,}16} + 12{,}30'''$.

Herr *K. C. v. Langsdorf* führt in seinem ausführlichen Systeme der Maschinenkunde Heidelberg und Leipzig 1826, I. Band §. 214 folgende Erfahrung für Röhren von Fichten- und Förlenholze an. Bei einer Druckhöhe von 40 Fuss und dem Durchmesser von 6 Zoll war die Stärke 60 Linien und diese Röhren mussten von 8 zu 8 Fuss Entfernung mit eisernen Reifen von beiläufig 3 Zoll Breite und ½ Zoll Dicke beschlagen werden. Demnach

ist $X''' : 60''' = D'' . H' : 6'' . 40'$, woraus $X''' = \frac{D'' . H'}{4}$ folgt. Herr von *Langsdorf* bemerkt jedoch, dass diese Röhren gewiss eine bei weitem grössere Festigkeit als nöthig war, hatten. Wo es übrigens darauf ankommt, diese Röhren einem grössern Drucke auszusetzen, müssen sie vorerst geprüft werden *).

§. 23.

Ist die Stärke metallener Röhren aus den angeführten Rechnungen bekannt, so lässt sich leicht das Gewicht derselben berechnen, und hiernach der Voranschlag für den Materialbedarf verfertigen. Die gewöhnlichste Konstruktion gusseiserner Röhren ist Fig. 31 verzeichnet; dieselbe besteht nämlich aus einem Röhrenstücke von 4 bis 6 Fuss Länge und einem angegossenen sogenannten Stutzel von grösserem Durchmesser, in welchen das nächste Röhrenstück eingeschoben, und durch Hanf mit heissem Pech übergossen und in den übrigen Zwischenraum eingedrückt, verkeilt und wasserdicht verbunden wird. Nennen wir den Durchmesser der Röhre im Lichten $= d$, ihre Stärke $= x$ und Länge $= l$, so wird das Gewicht der Röhre offenbar erhalten, wenn man von der äusseren Kreisfläche $^{11}/_{14}\,(d + 2x)^2$ die innere Kreisfläche $^{11}/_{14} . d^2$ abzieht, und diess mit der Länge l und dem Gewichte eines Kubikzolles Eisen, wofür man gewöhnlich $^1/_4$ N. Oe. Pfund annimmt, multiplizirt; demnach ist das Gewicht der Röhre $= \{^{11}/_{14}(d + 2x)^2 - {}^{11}/_{14}\,d^2\}\, l . {}^1/_4 = {}^{11}/_{14} l . x\,(d + x)$, wo sowohl x als d in Zollen zu substituiren sind. Fig. 4. Tab. 42.

Zur Berechnung des Gewichtes des Stutzels ist zu bemerken, dass man für die Verstopfung mit Hanf gewöhnlich zu jeder Seite 3 Linien Raum lässt. Man findet daher dieses Gewicht, indem man von der äusseren Kreisfläche des Stutzels oder $^{11}/_{14}(d + 0{,}5 + 4x)^2$ die innere Kreisfläche $^{11}/_{14}(d + 0{,}5 + 2x)^2$ abzieht, und den Rest mit der Länge l' und dem Gewichte eines Kubikzolles Eisen multiplizirt; diess gibt $\frac{11 . l' . x}{14}(d + 0{,}5 + 3x)$.

Beispiel. Nehmen wir die Länge der Röhre $= 60$ Zoll und jene des Stutzels $= 8$ Zoll, dann den Durchmesser im Lichten $d = 3$ Zoll an, so beträgt für eine Stärke von $x = 4$ Linien das Gewicht der Röhre und des Stutzels $52{,}38 + 9{,}43 = 61{,}81$ ℔; für eine Stärke von 5 Linien $= 67{,}11 + 12{,}44 = 79{,}55$ ℔; für eine Stärke von 6 Linien $84{,}50 + 15{,}71 = 98{,}21$ Pfund u. s. w.

§. 24.

Wird ein fester Körper in eine Flüssigkeit eingetaucht, so verliert er so viel von seinem Gewichte, als das von ihm verdrängte Volumen der Flüssigkeit wiegt. Der Körper tritt nämlich in diesem Falle an die

*) Werden in den Röhren spezifisch schwerere Flüssigkeiten als Wasser fortgeführt, wie es z. B. bei den Salzsoolen der Fall ist, so müssen die gefundenen Werthe aus den obigen, für den Druck des Wassers abgeleiteten Formeln noch mit der spezifischen Schwere der Flüssigkeit multiplizirt werden.

Stelle eines Volumens von Flüssigkeit, das dem Kubikinhalte dieses eingetauchten Körpers gleich ist, und da die verdrängte Flüssigkeit in ihrem vorigen Stande von der umgebenden Flüssigkeit gänzlich getragen wurde, so ergibt sich von selbst, dass die umgebende Flüssigkeit auf gleiche Art gegen den eingetauchten festen Körper wirken, folglich von seinem Gewichte ein gleiches Quantum tragen, oder den eingetauchten Körper um eben so viel erleichtern müsse. Zur deutlicheren Erklärung dieses Satzes wollen wir annehmen, die Flüssigkeit sey Wasser und der eingetauchte Körper sey ein
Fig. 5. Tab. 42. Prisma, dessen Oberfläche c d und Bodenfläche e i einander gleich sind. Setzen wir jede dieser Flächen $= f$, so beträgt der Druck des Wassers auf die obere Fläche des Prisma $= f . a c . 56{,}4$ ℔, und auf gleiche Art beträgt der Druck des Wassers auf die untere Fläche e i des Prisma $f(a c + c e)\ 56{,}4$. Da nun der Druck der Wassertheilchen nach allen Seiten gleich ist, folglich dieselbe Bodenfläche vom Wasser mit gleicher Kraft aufwärts gedrückt wird, so folgt, dass der eingetauchte Körper, der mit dem Gewichte $f . a c . 56{,}4 + Q$ gegen e i drückt, noch das Gewicht $f . a c . 56{,}4 + Q - f(a c + c e)\ 56{,}4 = Q - f\ c e . 56{,}4 = W$ im Wasser behalten werde. Nun ist $f . c e = K$, dem kubischen Inhalte des Körpers; wir erhalten demnach $Q - 56{,}4\ K = W$ die Gleichung zwischen dem absoluten Gewichte Q, dem Kubikinhalte K und dem Gewichte desselben Körpers im Wasser W. Es leuchtet von selbst ein, dass diese Gleichung, welche für einen regulären Körper abgeleitet wurde, auch für jeden irregulären gilt, da wir bereits gezeigt haben, dass der Druck auf eine jede krumme Linie nach einer gemeinschaftlichen Richtung derselbe sey, als der winkelrechte Druck auf die Projektion oder die zugehörige Sehne dieser krummen Linie.

Um diesen Satz durch einen Versuch anschaulich zu machen, bedient man sich der sogenannten **hydrostatischen Wage**. Diess ist eine mit aller Genauigkeit verfertigte Krämerwage, welche in ihrer Konstrukzion mit der im I. Bande, §. 179 beschriebenen Probirwage übereinkommt; sie hat jedoch 2 Schalen, wovon die eine gewöhnlich höher als die andere hängt, und an deren höheren unterhalb ein Haken zum Anhängen der Körper angebracht ist. Man stelle nun unter diese Wagschale ein
Fig. 6. Gefäss, worin reines oder destillirtes Wasser enthalten ist, und befestige mittelst eines Haares an den Haken einen festen Körper, der z. B. genau einen Kubikzoll Inhalt hat. Wird itzt das Gleichgewicht an der Wage hergestellt, dann aber derselbe Körper in die Flüssigkeit versenkt, so wird man finden, dass er genau um eben so viel weniger wiegt, als das Gewicht eines Kubikzolles reinen Wassers oder $\frac{56{,}4009}{1728}$ ℔ $= 1{,}0445$ Loth. Hat der eingetauchte Körper den Inhalt von 2 Kubikzoll, so wird er um eben so viel leichter seyn als 2 Kubikzoll reines Wasser wiegen, nämlich $2{,}089$ Loth.

§. 25.

Das Gewicht eines Körpers im Wasser muss immer gleich gross gefunden werden, derselbe mag bloss unter die Oberfläche des Wassers gebracht, oder sehr tief eingetaucht werden, in beiden Fällen wird nämlich sein absolutes Gewicht nur um eben so viel vermindert, als das Volumen des verdrängten Wassers wiegt. Dieses leuchtet auch für sich ein. Wird ein Körper tiefer eingetaucht, so drücken ihn zwar die oberhalb befindlichen

Wassertheile mehr herab, als wenn er sich nahe an der Oberfläche des Wassers befindet, allein nun werden jene Wassertheile, die sich unter dem Körper befinden, und denselben tragen, einen um eben so viel grösseren Druck erleiden, und eben so stark wieder zurückdrücken. Der beiderseitige grössere Druck hebt sich demnach auf und der Körper wird immer dasselbe Gewicht im Wasser zeigen. Derselbe Schluss ergibt sich aus der Rechnung des vorigen §., worin wir die Verminderung des absoluten Gewichtes eines Körpers im Wasser (56,4 K) für jede Druckhöhe ac gleich gross gefunden haben. Fig. 5. Tab. 42.

In der Gleichung $W = Q - 56{,}4\,K$ können drei Fälle vorkommen: 1 t e n s. Ist $Q = 56{,}4\,K$, oder das absolute Gewicht des Körpers eben so gross, als das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser, so folgt $W = 0$, und der Körper bleibt auf jeder Tiefe im Wasser stehen, da er eben so schwer als Wasser ist. Diess ist der Fall bei Wachskugeln, in welche einige Schrotkörner gedrückt werden; einige Gattungen Eichenholz, auch einige Menschen sind eben so schwer als Wasser. 2 t e n s. Ist Q grösser als 56,4 K, so wird der Körper im Wasser zu Boden sinken, weil er schwerer als diese Flüssigkeit ist. Dieser Fall kommt z. B. bei allen Metallen vor. 3 t e n s. Ist Q kleiner als 56,4 K, so wird der Körper mit der Kraft $56{,}4\,K - Q$ in die Höhe steigen, demnach zum Theil über der Oberfläche des Wassers hervorragen und sich schwimmend erhalten, wie diess bei allen weichen Hölzern der Fall ist. Wir sehen auch hieraus, dass solche Körper, deren absolutes Gewicht grösser als das Gewicht des durch sie verdrängten Wassers ist, nur in dem Falle schwimmen können, wenn man sie aushöhlt oder ihr Volumen vergrössert, um mehr Wasser zu verdrängen. Nach diesem Grundsatze erklärt sich das Schwimmen der Schiffe, die aus geschlagenem Kupfer oder eisernen Platten verfertigt sind.

Hieraus erklärt sich auch die Methode, grosse Lasten mittelst Schiffen aus dem Grunde des Meeres oder der Flüsse zu heben, gesunkene Brückenbögen zu erhöhen, oder ihre Schlussteine auszuheben u. s. w. Im ersten Falle führt man nämlich ein Schiff über den im Grunde versenkten Gegenstand, füllt es so weit mit Wasser, dass es vom Untergehen gesichert ist, befestigt den zu hebenden Gegenstand mit Ketten gut an das Schiff, und entleert sodann das letztere vom Wasser. Das Schiff wird nunmehr mit der Kraft $56{,}4\,K - Q$ in die Höhe steigen, und den Gegenstand aus dem Sande oder Schlamme des Grundbettes, in welches er versenkt ist, herausheben. Ist diess geschehen, so kann dieselbe Operazion entweder mehrmal (mit Anwendung zweier Schiffe) wiederholt oder auch der versenkte Gegenstand, da er bereits aus dem Grundbette gehoben wurde und nunmehr im Wasser leichter zu bewegen ist, mit Flaschenzügen oder Winden bis an die Oberfläche gebracht werden.

Soll ein hölzerner Brückenbogen erhöht oder der Schlusstein eines steinernen Bogens ausgehoben werden, so bedient man sich derselben Methode. Man stellt nämlich einige Schiffe unter denselben, errichtet in den ersteren ein Gerüste, das bis an den Bogen reicht, füllt die Schiffe mit Wasser und erhöht das Gerüste bis unter den Bogen. Wird nun das Wasser aus dem Schiffe ausgeschöpft, so hebt es den Bogen mit einer Kraft, welche dem Gewichte des ausgeschöpften Wassers gleich ist. Man sieht von selbst, dass diese Kraft sehr gross werden könne.

§. 26.

Alle Körper sind aus schweren Theilen zusammengesetzt, in welcher Hinsicht das Gewicht der Körper zum Maasstab ihrer Masse oder der Anzahl ihrer Theile angenommen wird. Da jedoch diese Theile in einigen Körpern dichter, oder näher beisammen sind, in andern weiter von einander entfernt liegen, so folgt, dass zur Bestimmung des eigenthümlichen Gewichtes der Körper auch nöthig sey, auf das Volumen oder auf den kubischen Rauminhalt derselben Rücksicht zu nehmen. Da gleiche Theile von einem und demselben Körper auch ein gleiches Gewicht haben, so ergibt sich von selbst, dass man die Masse oder das Totalgewicht eines Körpers aus der Summe der Gewichte seiner einzelnen Theile berechnen könne. Ist nämlich das Gewicht der zur Ausmessung seines Kubikinhaltes angenommenen Einheit z. B. das Gewicht eines Kubikzolles oder eines Kubikfusses, und dann die Grösse (das Volumen) des Körpers, oder die Zahl wie viel solche Einheiten sein Volumen enthält, bekannt, so lässt sich ohne Anstand das Gewicht des Körpers berechnen. Setzen wir das Gewicht eines Kubikfusses $= G$ und das Volumen oder kubische Fussmaass des Körpers $= K$, so ergibt sich das Totalgewicht oder die Masse des Körpers $= Q$ aus der Proportion $1^{c'} : G = K^{c'} : Q$. Hieraus folgt $Q = G.K$; die Masse oder das Totalgewicht eines Körpers wird daher erhalten, wenn das Gewicht der zur Bemessung angenommenen Einheit G mit dem Volumen K des Körpers multiplizirt wird, z. B. ein Kubikfuss Wasser wiegt $56{,}4$ ℔; es wird daher ein Gefäss von 4 Kubikfuss eine Wassermenge enthalten, die $4 . 56{,}4 = 225{,}6$ ℔ wiegt.

Aus dem obigen Ausdrucke folgt $G = \frac{Q}{K}$, d. h. man erhält das Gewicht der Einheit des Kubikmaasses, wenn man das Gewicht Q des Körpers durch sein Volumen dividirt. Z. B. Man hat das Gewicht eines Stückes Eisen $= 141$ ℔ gefunden, wovon der Inhalt 576 Kubikzoll beträgt. Es wird daher das Gewicht eines Kubikzolles dieser Eisenmasse $= \frac{141}{576}$ ℔ und eines Kubikfusses $= \frac{141 . 12^3}{576} = 423$ ℔ seyn.

Aus der obigen Gleichung folgt auch noch $K = \frac{Q}{G}$, oder der Kubikinhalt eines Körpers wird erhalten, wenn man sein Totalgewicht durch das Gewicht der zu seiner Ausmessung angenommenen Einheit dividirt. Diese Gleichung dient, um den Kubikinhalt vorzüglich der irregulären hohlen Körper aus ihrem Gewichte zu berechnen. Will man z. B. den kubischen Inhalt irgend eines Gefässes finden, so wiege man dasselbe zuerst leer und hierauf mit reinem Wasser gefüllt. Gesetzt das Gewicht des leeren Gefässes sey $= 9^3/_8$ ℔ und jenes des vollen $= 60$ ℔, so beträgt das Gewicht des darin befindlichen Regenwassers $60 - 9^3/_8 = 50{,}625$ ℔ $= Q$. Daraus folgt der kubische Inhalt des Gefässes $\frac{50{,}625}{56{,}4} = 0{,}8976$ Kubikfuss; dasselbe wird daher beinahe einen halben N. Oe. Eimer enthalten, da 1 Eimer $= 1{,}792$ Kubikfuss ist.

§. 27.

Eine Anwendung der §. 24. aufgestellten Gleichung besteht in der Bestimmung des kubischen Inhaltes irregulärer Körper, z. B. eines abgebrochenen Stückes Stein, eines Geschmeides oder einer Gusswaare, welche nicht zerschlagen werden darf.

Es sey das unbekannte Volumen dieses Körpers $= K$; man wiege ihn in der Luft und im Wasser, so hat man die Gleichung $W = Q - 56{,}4 K$, woraus $K = \frac{Q - W}{56{,}4}$ folgt. Da nun $Q - W$ der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser ist, so erhält man den kubischen Inhalt des Körpers in Kubikfussen, wenn man seinen Gewichtsverlust im Wasser in Pfunden ausgedrückt, durch das Gewicht eines Kubikfusses Wasser oder 56,4 dividirt.

B e i s p i e l. Ein Körper wiege $Q = 28{,}2$ Pfund in der Luft und $W = 7{,}05$ Pfund im Wasser, so ist $K = \frac{28{,}2 - 7{,}05}{56{,}4} = 0{,}375$ Kubikfuss.

Mit Hülfe dieser Methode lässt sich das Gewicht eines Kubikfusses f e s t e r K ö r p e r, z. B. der Steine, Metalle, ... und wenn der Kubikinhalt eines grossen Körpers bekannt ist, auch sein ganzes absolutes Gewicht bestimmen.

B e i s p i e l. Wiegt ein Stück Roheisen in der Luft 7,5 ℔, im Wasser 6,5 ℔, so ist sein Kubikinhalt $= \frac{7{,}5 - 6{,}5}{56{,}4} = \frac{1}{56{,}4}$ Kubikfuss. Man findet daher aus der Proportion $\frac{1^{c'}}{56{,}4} : 7{,}5$ ℔ $= 1^{c'} : x$, das Gewicht eines Kubikfusses Eisen $x = 56{,}4 . 7{,}5 = 423$ ℔. Betrüge nun der Kubikinhalt einer gusseisernen Säule 8 Kubikfuss, so wird sie $423 . 8 = 3384$ ℔ wiegen.

Dieser Methode bedient man sich vorzüglich, um Körper unter einander zu erkennen, und darnach in vielen Fällen ihre Preiswürdigkeit zu bestimmen.

B e i s p i e l. Ein dem Anscheine nach goldener Ring wiegt in der Luft 270 Gran, im Wasser aber nur 240 Gran, so hat derselbe den 9ten Theil von seinem Gewichte verloren. Da man nun aus Versuchen gefunden hat, dass reines Gold den 19ten Theil, Kupfer aber den 8,8ten Theil im Wasser verliert, so folgt, dass dieser Ring grösstentheils von Kupfer seyn müsse; wäre er aber von Gold, so würde er nur $\frac{270}{19} = 14{,}2$ Gran im Wasser verlieren.

§. 28.

Die Körper werden unter einander theils nach dem Maasse und theils nach dem Gewichte verglichen und man frägt entweder um das Gewicht der Körper für ein bestimmtes Maass oder um das Maass derselben für ein bekanntes Gewicht. In beiden Fällen liegt das Gewicht der Einheit des Maasses zum Grunde, wozu wir bei unsern bisherigen Berechnungen einen N. Oe. Kubikfuss angenommen haben. Es ist daher von Wichtigkeit, das Gewicht eines Kubikfusses für jeden Körper zu wissen. Da aber sowohl die Maasse, als auch die Gewichte in den meisten Ländern verschieden sind, dagegen das reine Regen- oder destillirte Wasser in allen Ländern gleich ist, so ist man übereingekommen, dieses zum allgemeinen Maasstabe der eigenthümlichen oder s p e z i f i s c h e n S c h w e r e d e r K ö r p e r anzunehmen. Man versteht aber unter der spezifischen Schwere oder dem spezifischen Gewichte die Zahl, welche angibt, w i e v i e l m a l i r g e n d e i n V o l u m e n e i n e s K ö r p e r s s c h w e r e r a l s d a s s e l b e V o l u m e n r e i n e n W a s s e r s i s t. Solche Bestimmungen wurden bereits von den ältern Physikern gemacht; in neuern Zeiten hat man jedoch beobachtet, dass alle Körper von der Wärme ausgedehnt und in ihrem Volumen vergrössert werden, man hat demnach sowohl für das Wasser als für den Körper einen bestimmten Wärmegrad angenommen und hiebei die spezifischen Schweren bestimmt. Reines, destillirtes Wasser hat bei gleicher Temperatur

auch immer eine gleiche Dichte; man nimmt es gewöhnlich bei der mittlern Temperatur von 14 Grad Reaumur in unserm Klima zum Maasstabe und setzt für diesen Fall seine spezifische Schwere $= 1$; hiernach wird nun die spezifische Schwere der andern Körper bestimmt. Wenn man daher sagt, die spezifische Schwere des Quecksilbers sey $= 14$, so ist diess eben so viel, als dass ein Kubikfuss Quecksilber 14 Mal so viel als ein Kubikfuss reines Wasser, oder auch ein Kubikzoll Quecksilber 14 Mal so viel als ein Kubikzoll reines Wasser wiegt.

Nennen wir allgemein die spezifische Schwere eines Körpers $= n$, so ist das Gewicht eines Kubikfusses dieses Körpers $= n \cdot 56{,}4$; man findet daher das Gewicht eines Kubikfusses eines jeden Körpers, wenn man seine spezifische Schwere mit 56,4 multiplizirt. Wird aber der Kubikinhalt K eines Körpers mit dem Gewichte eines Kubikfusses $n \cdot 56{,}4$ multiplizirt, so gibt diess das absolute Gewicht Q des Körpers oder $Q = n \cdot 56{,}4\, K$. Wird hieraus n berechnet, und der §. 24 für $56{,}4\, K$ gefundene Werth substituirt, so ist $n = \frac{Q}{56{,}4\, K} = \frac{Q}{Q - W}$, d. h. m a n f i n d e t d i e s p e z i f i s c h e S c h w e r e e i n e s j e d e n K ö r p e r s, w e n n m a n d a s G e w i c h t i r g e n d e i n e s S t ü c k e s d e s s e l b e n i n d e r L u f t m i t d e m G e w i c h t s v e r l u s t e d e s s e l b e n S t ü c k e s i m W a s s e r d i v i d i r t.

Die Methoden, die spezifische Schwere zu bestimmen, sind bei festen Körpern, je nachdem sie schwerer oder leichter als Wasser sind, dann je nachdem sie sich im Wasser auflösen oder nicht, ferner bei flüssigen und luftartigen Körpern verschieden. Wir werden hier diejenigen Methoden abhandeln, welche in der Ausübung gewöhnlich vorkommen, wogegen jene Verfahrungsarten, die bei genauen chemischen Versuchen angewendet werden, für unsern Gegenstand übergangen werden können.

§. 29.

E r s t e r F a l l. D i e s p e z i f i s c h e S c h w e r e e i n e s f e s t e n K ö r p e r s, w e l c h e r s c h w e r e r a l s W a s s e r i s t, u n d v o n d e m s e l b e n n i c h t a u f g e l ö s t w i r d, z u b e s t i m m e n. Man nimmt ein willkührliches Stück des zu untersuchenden Körpers, und wiegt es mittelst einer hydrostatischen Wage, indem es an ein feines Haar angebunden wird, im Wasser und in der Luft, so ist nach dem vorigen §. die spezifische Schwere $n = \frac{Q}{Q - W}$, will man aber das Gewicht eines N. Oe. Kubikfusses bestimmen, so ist diess $= n \cdot 56{,}4 = \frac{56{,}4 \cdot Q}{Q - W}$.

B e i s p i e l. Es sey das Gewicht eines Stückes Marmor $Q = 4$ Loth und das Gewicht desselben Stückes im Wasser $W = 2{,}5$ Loth, so ist die spezifische Schwere $n = \frac{4}{4 - 2{,}5} = 2{,}667$ und das Gewicht eines Kubikfusses Marmor $= 56{,}4 \cdot 2{,}667 = 150{,}4$ ℔.

Diese Methode unterliegt keiner weiteren Schwierigkeit, wenn anders die Abwägung mit der erforderlichen Genauigkeit auf einer hinreichend empfindlichen Wage vorgenommen wird. Das Befestigen der Körper an Haare (gewöhnlich Pferdehaare) gewährt den Vortheil, dass dieselben beinahe gleiche spezifische Schwere wie das Wasser haben. Sollen jedoch die Resultate sehr genau seyn, so muss auch auf den Ge-

wichtsverlust des eingetauchten Haares Rücksicht genommen werden. Diess wird desto schwieriger, je kleiner die zu untersuchenden Körper sind, z. B. Juwelen. In solchen Fällen legt man den Körper auf eine kleine, leichte, an einem dünnen Drahte befestigte Schale und senkt dieselbe bis zu einem an dem Drahte bezeichneten Punkte c in das Wasser. Wird itzt das Gewicht für den Stand des Gleichgewichtes der Wage genau bestimmt, sodann der zu prüfende Körper auf die kleine Schale gelegt und durch Zulegen der Gewichte in der andern Wagschale abermals Gleichgewicht hergestellt, während der Draht wieder nur bis auf die frühere Tiefe im Wasser eingetaucht ist, so lässt sich sowohl der Gewichtsverlust des Edelsteines im Wasser als auch seine spezifische Schwere genau bestimmen. Fig. 7. Tab. 42.

§. 30.

Zweiter Fall. Soll die spezifische Schwere von Körpern, die in körnigter Gestalt oder in Pulverform vorkommen, bestimmt und hierbei auf die dazwischen befindliche Luft oder auf den von den Körnern unausgefüllten Raum keine Rücksicht genommen werden, so kann man auf nachfolgende Art mittelst der gemeinen Wage verfahren: Man bedient sich eines Glasgefässes mit einem dünnen Halse oder einer Phiole und bestimmt das Gewicht der leeren Flasche ($=q$). Hierauf füllt man diese Flasche zuerst mit dem zu prüfenden Körper, das Gewicht der Flasche sammt diesem Körper sey $=Q$; sodann entleert man die Flasche und füllt sie mit reinem Wasser; das Gewicht der mit Wasser gefüllten Phiole sey $=W$. Da nun das Gewicht des Pulvers $=Q-q$ und des gleichen Volumens Wasser $=W-q$, so ist das spezifische Gewicht des Körpers, $n=\frac{Q-q}{W-q}$. Man braucht auch nicht einmal das absolute Gewicht der Phiole zu kennen, indem man bloss nöthig hat, zuerst die leere Flasche zu tariren, d. h. auf der Wage in das Gleichgewicht zu bringen, und hierauf darin das Wasser und sodann das Pulver abzuwiegen; heisst das Gewicht von jenem W', von diesem Q', so ist das spezifische Gewicht $n=\frac{Q'}{W'}$.

Beispiel. Ist das gefundene Gewicht des Wassers $W'=515$ Gran und des gepulverten Zinnobers $Q'=4035$ Gran, so ist die spezifische Schwere des Pulvers $n=\frac{4035}{515}=7{,}835$.

Es leuchtet von selbst ein, dass man dasselbe Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Schwere tropfbar flüssiger Körper anwenden könne. Bei dieser Methode muss die Flasche genau bis zu dem Punkte, den man an ihrem Halse durch einen umgebundenen Faden bezeichnet, zuerst mit Wasser und dann mit der zu prüfenden Flüssigkeit gefüllt werden. Bevor jedoch die Flüssigkeit hineinkommt, muss die Flasche gut getrocknet und das allenfalls noch hängen gebliebene Wasser durch Verdampfung aus derselben entfernt werden.

§. 31.

Dritter Fall. Soll die spezifische Schwere von Körpern, die in körnigter Gestalt oder in Pulverform vorkommen, mit Ausschluss der hierin befindlichen Luft bestimmt werden, so nimmt man abermals eine kleine Glasflasche mit engem Halse und wiegt sie auf der gemeinen Wage ab. Das Gewicht derselben

(der Tara) sey $= q$. Man füllt nun die Flasche mit reinem Wasser und wiegt sie wieder. Wird von dem Totalgewichte Q die Tara q abgezogen, so erhält man das absolute Gewicht derjenigen Wassermenge, welche im Gefässe Platz hat, $W = Q - q$. Man bringt nach vollkommener Austrocknung des Gefässes eine beliebige Menge des pulverförmigen Körpers hinein und wiegt es abermals (P), so ist das Gewicht des Pulvers $p = P - q$. Man füllt nun während das Pulver im Gefässe bleibt, das letztere wieder mit Wasser und sieht darauf, dass keine Luftbläschen im Gefässe an den Körnern oder an dem Pulver haften bleiben*). Nach vollkommener Entfernung der Luft wird das Gefäss vollends mit Wasser gefüllt, und auf die Wage gebracht. Wiegt die Flasche dermalen O, so ist $O - q$ das Gewicht des Pulvers und Wassers in der Flasche, demnach das Gewicht des Wassers allein $= O - q - (P - q) = O - P$. Werden beide Gewichte des Wassers von einander abgezogen, so erhält man das Gewicht des vom Pulver verdrängten Wassers $= W - (O - P) = Q - q - O + P$. Das absolute Gewicht des Pulvers war $= p$, demnach ist seine spezifische Schwere $n = \frac{p}{Q - q - O + P}$.

B e i s p i e l. Gepulverter Kalkstein wiege in der Luft $p = 480$ Gran; das Gewicht des Wassers in der Flasche betrage $Q - q = 1000$ Gran, das Gewicht des Kalksteines und der Flasche $P = 960$ Gran, endlich das Gewicht der mit Pulver und Wasser gefüllten Flasche $O = 1780$ Gran, so ist die spezifische Schwere $n = \frac{480}{1000 - 1780 + 960} = 2{,}667$.

§. 32.

V i e r t e r F a l l. Soll die spezifische Schwere f e s t e r K ö r p e r, w e l c h e l e i c h t e r a l s W a s s e r s i n d, u n d d e m n a c h a u f d e m s e l b e n s c h w i m m e n, bestimmt werden, so müssen solche leichtere Körper mit einem schwereren, z. B. mit einem Stückchen Blei oder Eisen belastet oder dasselbe daran gebunden werden, damit sie gerade noch in das Wasser einsinken. Man wiegt nun zuerst das Stück Eisen in der Luft (q) und dann im Wasser (w) ab. Hierauf wird das Holz in der Luft (Q) und Holz und Eisen zusammen im Wasser gewogen (W). Der Gewichtsverlust beider Körper im Wasser ist offenbar $= Q + q - W$, und der Gewichtsverlust des Holzes allein im Wasser $= Q + q - W - (q - w) = Q + w - W$. Wird nun das Gewicht des Holzes in der Luft (Q) durch diesen Gewichtsverlust dividirt, so erhält man die spezifische Schwere des untersuchten Holzes, $n = \frac{Q}{Q + w - W}$.

B e i s p i e l. Es sey das Gewicht des Holzes in der Luft $Q = 6$ Loth, das Gewicht des Eisenstückes im Wasser $w = 10$ Loth, das Gewicht des Holzes und Eisens im Wasser $W = 6$ Loth, so ist $n = \frac{6}{6 + 10 - 6} = 0{,}6$. Dieses Verfahren fällt bei dem ersten Anscheine dadurch auf, dass das Gewicht des Holzes und Eisens im Wasser weniger beträgt, als das Gewicht des Eisens, wenn es für sich allein im Wasser gewogen wird. Bei einigem Nachdenken sieht man jedoch, dass diess der Fall seyn muss, indem das Holz

*) Diess ist oft schwierig und kann nur dadurch erreicht werden, dass man das offene Gefäss unter die Glocke einer Luftpumpe bringt, und jene evakuirt.

viel leichter, als Wasser ist, demnach bei seinem Eintauchen im Wasser, wenn es mit dem Stück Eisen zusammenhängt, weit mehr verliert, als das Gewicht des Holzes in der Luft beträgt.

Derselben Methode bedient man sich auch, wenn man in dem angenommenen 3ten Falle die spezifische Schwere eines Pulvers zu bestimmen hat, welches leichter als Wasser ist. Hier muss nämlich der mit dem Pulver zu verbindende schwere Körper so gewählt werden, dass er dieses leichte Pulver zugleich einschliessen könne, wie z. B. bei einem Drathsiebe der Fall ist. Man kann zu gleichem Zwecke auch eine communizirende Röhre nehmen, den zu untersuchenden leichten Körper, z. B. Holzkohlenstaub auf einer Seite der Röhre einfüllen, die Röhre oben verschliessen und nun das Wasser von der andern Seite zutreten lassen, damit es in die leeren Räume des Pulvers eindringe. Die spezifische Schwere wird hier wie im 3ten Falle bestimmt.

§. 33.

Fünfter Fall. Wenn feste Körper, welche das Wasser einsaugen, z. B. Sandsteine untersucht werden sollen, so müssen dieselben zuerst im trockenen Zustande in der Luft gewogen werden (Q). Hierauf lässt man sie mit Wasser ansaugen, und wiegt sie abermal in der Luft (Q′), der Unterschied beider Gewichte $Q - Q' = W$ gibt das Gewicht des eingesaugten Wassers. Wird nun der mit Wasser angesaugte Körper abermals im Wasser gewogen (W′), so erhält man den Gewichtsverlust, welchen der trockene Körper für sich allein im Wasser erleidet, falls er kein Wasser einsaugen würde, wenn man das Gewicht des vom Körper eingesaugten Wassers (W) zum gefundenen Gewichtsverluste $(Q' - W')$ addirt. Da nun derselbe $= (Q' - Q) + (Q' - W') = 2\,Q' - W' - Q$, so ist die pezifische Schwere $n = \frac{Q}{2\,Q' - Q - W'}$.

Beispiel. Ein Stück Sandstein wiege in der Luft 1100 Gran $= Q$, mit Wasser vollgesogen 1122 Gran $= Q'$; dieser mit Wasser vollgesogene Sandstein wiege im Wasser 649 Gran $= W'$, so ist der Verlust des Gewichtes $= 1122 - 649 = 473$ Gran. Eingesogen hat der Sandstein $Q' - Q = 22$ Gran; daher ist der wahre Gewichtsverlust $= 473 + 22 = 495$ Gran und demnach die spezifische Schwere $= \frac{1100}{495} = 2{,}222$.

§. 34.

Sechster Fall. Ist der zu untersuchende feste Körper im Wasser auflösbar, so muss man denselben in einer andern Flüssigkeit als Wasser, in welcher er nicht aufgelöst wird, und deren spezifisches Gewicht bekannt ist, abwiegen; man bemerke seinen Gewichtsverlust hierin. Demnach kennt man das Verhältniss der Gewichte gleicher Volumen der Flüssigkeit und des festen Körpers und da man auch das spezifische Gewicht der Flüssigkeit kennt, so braucht man mit demselben nur jenes gefundene Verhältniss zu multipliziren, um das spezifische Gewicht des zu prüfenden Körpers zu erhalten. Es sey das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, welche man anwendet, z. B. des Weingeistes $= m$, das absolute Gewicht eines Körpers $= Q$, sein Gewicht im Weingeiste $= W$, so ist das spezifische Gewicht desselben $n = m \cdot \frac{Q}{Q - W}$.

Beispiel. Das absolute Gewicht das Salpeters sey 220 Gran $= Q$, das Gewicht desselben im Weingeist $W = 128$ Gran, und die spezifische Schwere des Weingeistes $m = 0,792$, so ist das spezifische Gewicht des Salpeters $n = 0,792 \cdot \frac{220}{220 - 128} = 1,894$.

§. 35.

Siebenter Fall. Um die spezifische Schwere verschiedener Flüssigkeiten zu finden, kann man sich eines festen Körpers von beliebiger Form, z. B. eines Stückes Glas bedienen. Man wiegt dasselbe zuerst in der Luft ab, sodann in reinem Wasser und hierauf in den verschiedenen Flüssigkeiten. Es sey der Gewichtsverlust des Körpers in destillirtem Wasser $= V$ und der Gewichtsverlust desselben Körpers in irgend einer Flüssigkeit $= V'$, so ist die spezifische Schwere der Flüssigkeit $= \frac{V'}{V}$.

Beispiel. Das massive Stück Glas verliere im Wasser $V = 2$ Loth, in einer Flüssigkeit $V' = 1\frac{1}{2}$ Loth, so ist die spezifische Schwere desselben $= \frac{V'}{V} = \frac{3}{2 \cdot 2} = 0,75$.

§. 36.

Zur Bestimmung der zpezifischen Schwere der Hölzer kann man auch mehrere Stäbe von gleichem Querschnitte in ihrer ganzen Länge verfertigen lassen, und dieselben in reines Wasser senkrecht eintauchen. Bezeichnet a den Punkt, bis zu welchem der Stab im Wasser einsinkt, f seine Querschnittsfläche und n die spezifische Schwere, so ist für diesen Zustand des eingetauchten Holzes das Gewicht des verdrängten Wassers $f \cdot ab \cdot 56,4 = f \cdot bc \cdot 56,4 \cdot n$ oder dem absoluten Gewichte des Stabes, woraus die spezifische Schwere $n = \frac{ab}{bc}$ folgt.

Fig. 8. Tab. 42.

Beispiel. Es sey die Länge des ganzen Stabes $bc = 10$ Zoll und die Tiefe des Einsinkens $ab = 5,5$ Zoll, so ist die spezifische Schwere desselben $n = \frac{5,5}{10} = 0,55$.

§. 37.

Diese Methode lässt sich auch bei der Bestimmung der spezifischen Schwere der Flüssigkeiten anwenden. Man nimmt nämlich eine durchaus gleich starke, hohle, unten zugeschmolzene gläserne Röhre, und stellt sie zuerst in reines Wasser, wo selbe z. B. bei ab stehen bleibt. Taucht man nun dieselbe Röhre in eine spezifisch schwerere Flüssigkeit, so sinkt sie bloss bis cd ein, in einer spezifisch leichteren aber tiefer als ab. In beiden Fällen muss das absolute Gewicht der Röhre dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit gleichkommen; wir haben daher

Fig. 9.

$f \cdot ae \cdot 56,4 = f \cdot ce \cdot n \cdot 56,4$ und die spezifische Schwere der Flüssigkeit $n = \frac{ae}{ce}$.

Der Gebrauch dieser Röhren hat folgende 2 Unbequemlickkeiten: 1tens. Ist es sehr schwer ein langes und gleich dickes Rohr zu erhalten; weicht daher dasselbe in der Querschnittsfläche um irgend etwas ab, so werden hiedurch auch Fehler in der Bestimmung des spezifischen Gewichtes veranlasst. 2tens. Fallen solche Röhren von gleicher Dicke in den Flüssigkeiten, wenn sie nicht sehr tief eingetaucht sind, leicht um, wodurch nun wieder ihr Gebrauch beschränkt wird.

Da es auf die Gestalt des untern Theiles ce der Röhre gar nicht ankommt, indem derselbe in jedem Falle in der Flüssigkeit versenkt bleibt, so braucht er auch nicht gleich dick wie der obere zu seyn, und man kann ihm eine willkührliche Gestalt geben. Solche Röhren gehen unten gewöhnlich in einen grössern hohlen Zylinder oder in eine Kugel über, an welche eine zweite kleinere Kugel angeschmolzen wird, die man mit Quecksilber oder Bleischrott füllt; hierdurch wird der vertikale Stand des Instrumentes in jeder Flüssigkeit erhalten. Man nennt diese Instrumente, welche zur Bestimmung der spezifischen Schwere oder auch des Gewichtes von 1 Kub. Fuss verschiedener Flüssigkeiten dienen, *Aräometer* oder Dichtigkeitsmesser; sie werden auch Salzwagen, Soolwagen, Gradirwagen, auch Laugenmesser, oder Brandweinwagen, Brandweinspindeln, Alkoholometer genannt, je nachdem sie zur Bestimmung des Gehaltes einer Salzsoole, einer Lauge, oder des Antheiles reinen Weingeistes (Alkohol), welcher im Brandwein enthalten ist, gebraucht werden. Fig. 9. Tab. 42.

Alle bisher bekannten *Aräometer* lassen sich in zwei Hauptklassen eintheilen: 1tens. *Aräometer mit Skalen*, welche ohne ein besonderes Gewicht aufzulegen in die Flüssigkeiten versenkt werden, und wo an der, längst der Röhre fortlaufenden Skale jener Punkt, bis zu welchem sie einsinken, sogleich das spezifische Gewicht anzeigt. Diese *Aräometer* sinken daher in leichtern Flüssigkeiten tiefer als in schwerern ein, und verdrängen demnach ungleiche Kubikinhalte der zu prüfenden Flüssigkeit. 2tens. *Aräometer mit Gewichten*, welche durch aufgelegte Gewichte in jeder Flüssigkeit bis zu einem fixen Punkte eingetaucht und wobei aus dem aufgelegten Gewichte die spezifische Schwere der Flüssigkeit bemessen wird. Bei diesen Instrumenten wird daher immer ein gleiches Volumen von Flüssigkeit verdrängt.

Da die *Aräometer* mit Skalen am meisten im Gebrauche sind, so wird auch vorzüglich von ihrer Konstrukzion so weit ihre Skale durch Rechnung bestimmt wird, hier gehandelt. Gewöhnlich werden diese Instrumente entweder für Flüssigkeiten, die spezifisch leichter sind als Wasser oder auch für solche, die spezifisch schwerer sind, konstruirt. Wir haben daher von beiden Gattungen *Aräometer* zu handeln.

§. 38.

Es sey die Skale eines *Aräometers* für spezifisch leichtere Flüssigkeiten als Wasser zu bestimmen, um sowohl die spezifische Schwere als auch das Gewicht eines Kubikfusses anzuzeigen.

Man wiegt das Instrument auf einer guten Wage in der Luft; sein absolutes Gewicht sey $= Q$. Senkt man es nun in reines Wasser ein, so bleibe es bei ab stehen. Nennen wir den kub. Inhalt des eingesunkenen Theiles $= K$, so muss dieser Inhalt des verdrängten Wassers eben so viel als das Gewicht des Instrumentes in der Luft wiegen; wir haben daher $Q = 56{,}4\ K$ (I), woraus $K = \frac{Q}{56{,}4}$. Durch diese Gleichung berechnet man den kub. Inhalt des eingesenkten irregulären Theiles eben so genau, als man Q bestimmt hat, und diess Instrument kommt offenbar mit einem andern von gleichem Querschnitte f genau überein, dessen Länge aus der Gleichung $K = f . l = \frac{Q}{56{,}4}$, mithin Fig. 10.

Fig. 10. Tab. 42. $l = \frac{Q}{56{,}4 \, . \, f}$ bestimmt wird; es ist demnach eben so viel, als ob statt des untern Theiles des *Aräometers* ein Rohr von der Länge $l = \frac{Q}{56{,}4 \, . \, f}$ und dem Querschnitte f des oberen Theiles der Röhre vorhanden wäre.

Man bemerkt nun die Linie ab, bis zu welcher das Instrument im Wasser einsank mit einem umgebundenen Faden und legt hierauf oben auf die Röhre ein kleines Zulagsgewicht p, taucht das Instrument wieder in das Wasser und bemerkt die Linie cd, bis zu welcher es dermalen einsinkt. Nennen wir die Höhe $bd = a$ und den Querschnitt der Röhre $= f$, so ist für den zweiten Stand des Instrumentes $56{,}4 \, (K + a \, . \, f) = Q + p$. (II). Wird hievon die Gleichung (I) abgezogen, so erhalten wir $56{,}4 \, . \, a \, . \, f = p$, und $f = \frac{p}{56{,}4 \, . \, a}$. (III). Durch diese Gleichung wird der Querschnitt des dünnen Rohres mit derselben Genauigkeit bestimmt, womit das Zulagsgewicht p gewogen und die Länge des Rohres a gemessen wurde.

Das Instrument wird nun von dem Zulagsgewichte p befreit, abgetrocknet, und hierauf in eine spezifisch leichtere Flüssigkeit, wovon die spezifische Schwere n oder das Gewicht eines kub. Fusses (y) erst zu bestimmen ist, abermals frei eingetaucht. Nennen wir die Höhe, auf welcher das Instrument stehen bleibt, $ae = x$, so ist $(K + f \, . \, x) \, y = Q$ und $y = \frac{Q}{K + f \, . \, x}$. Die obern Werthe für K und f substituirt, gibt

$$y = \frac{Q}{\frac{Q}{56{,}4} + \frac{p \, . \, x}{56{,}4 \, . \, a}} = \frac{56{,}4 \, . \, Q}{Q + \frac{p \, . \, x}{a}} \text{ (IV).}$$

Zur Bestimmung der spezifischen Schwere haben wir aber die Gleichung

$$n = \frac{y}{56{,}4} = \frac{1}{1 + \frac{p \, . \, x}{Q \, . \, a}} \text{ (V).}$$

Bei der Anwendung der Gleichungen (IV) uud (V) können vier Fälle eintreten: 1tens. Es ist nebst den Dimensionen des Instrumentes die Einsenkung x durch einen Versuch bekannt, und man fragt um die spezifische Schwere der Flüssigkeit. 2tens. Man fragt für denselben Fall nach dem Gewichte eines kub. Fusses der Flüssigkeit. 3tens. Nebst den Dimensionen des Instrumentes ist die spezifische Schwere einer Flüssigkeit gegeben oder sie wird angenommen und man soll die Tiefe der Einsenkung finden, endlich 4tens, es ist das Gewicht eines Kubikfusses der Flüssigkeit gegeben, oder es wird angenommen, und man soll die Tiefe der Einsenkung finden.

Ist das Instrument bereits fertig und soll die Skale hierzu angegeben werden, so ist es am vortheilhaftesten, verschiedene Werthe für das Gewicht eines Kubikfusses oder für die spezifische Schwere anzunehmen und hierzu die Höhe x zu berechnen. Da nun $y = \frac{56{,}4 \, . \, Q}{Q + \frac{p \, . \, x}{a}}$, so ist $x = \frac{a \, . \, Q}{p} \left(\frac{56{,}4}{y} - 1 \right)$. Hiernach wird die Skale für ein Instrument bestimmt, welches die G e w i c h t e e i n e s K u b i k f u s s e s verschiedener Flüssigkeiten anzeigt. Will man jedoch an dem Instrumente die s p e z i f i s c h e n S c h w e r e n

angeschrieben haben, so wird der Werth $n = \frac{y}{56{,}4}$ in die vorige Gleichung substituirt, und man erhält $x = \frac{a \cdot Q}{p} \left(\frac{56{,}4}{n \cdot 56{,}4} - 1 \right) = \frac{a \cdot Q}{p} \left(\frac{1-n}{n} \right)$.

§. 39.

1tes Beispiel. Es sey bei einem bereits vorhandenen Aräometer das Gewicht des Instrumentes $Q = 10$ Loth, das Zulagsgewicht $p = 1$ Loth, die Höhe $a = 8$ Zoll, so ist $x = 80 \left(\frac{1-n}{n} \right)$ Zoll. Nun werden für n verschiedene Werthe angenommen, und zwar ist:

			Differenzen.
wenn n = 1,00	d. Höhe der Skale, oder x = 0,0000	Zoll	
n = 0,99	 x = 0,8081	„	0,8081
n = 0,98	 x = 1,6327	„	0,8246
n = 0,97	 x = 2,4742	„	0,8415
n = 0,96	 x = 3,3333	„	0,8591
n = 0,95	 x = 4,2105	„	0,8772
n = 0,94	 x = 5,1064	„	0,8959
n = 0,93	 x = 6,0215	„	0,9151
n = 0,92	 x = 6,9565	„	0,9350
n = 0,91	 x = 7,9121	„	0,9556

Nach diesen Zahlen wird die Skale für das Instrument verfertigt, indem man sie auf einen Papierstreifen aufträgt, in die Glasröhre hineinschiebt, und darin befestigt. Aus den beigefügten Differenzen für die Höhe x bei gleichem Unterschiede von n ersieht man, dass dieselben (nämlich die Werthe für die Höhe x) ungleich sind. Es ist daher unrichtig, wenn man bei der Konstrukzion dieser Instrumente bloss die 2 äussersten Punkte von x durch Versuche bestimmt, hiernach diese Entfernung in gleiche Theile theilt, und gleiche Differenzen der spezifischen Schweren zuschreibt. Bei einer richtigen Konstrukzion müssen alle einzelnen Werthe von x für jedes n erst versucht oder berechnet und hiernach die Skale verfertigt werden.

Will man aber an diesem Instrumente die Gewichte eines Kubikfusses angeschrieben haben, so berechnet man die Skale nach der Formel $x = \frac{a \cdot Q}{p} \left(\frac{56{,}4}{y} - 1 \right) = 80 \left(\frac{56{,}4 - y}{y} \right)$. Nimmt man nun die Werthe $y = 56{,}4$, dann $y = 56{,}0 \ldots\ldots$ an, so erhält man abermals folgende Tabelle:

			Differenzen.
für y = 56,4	ist d. Höhe d. Skale, oder x = 0,0000	Zoll	
y = 56,0	 x = 0,5714	„	0,5714
y = 55,5	 x = 1,2973	„	0,7259
y = 55,0	 x = 2,0364	„	0,7391
y = 54,5	 x = 2,7890	„	0,7526
y = 54,0	 x = 3,5556	„	0,7666
y = 53,5	 x = 4,3364	„	0,7808
y = 53,0	 x = 5,1321	„	0,7957
y = 52,5	 x = 5,9429	„	0,8108
y = 52,0	 x = 6,7692	„	0,8263
y = 51,5	 x = 7,6117	„	0,8425
y = 51,0	 x = 8,4706	„	0,8589

Man sieht, dass auch bei dieser Skale die Abtheilungen für gleiche Differenzen der Gewichte eines Kubikfusses ungleich sind, und von unten hinauf immer grösser werden, wie im vorigen Falle.

2tes Beispiel. Wir wollen nun den häufiger vorkommenden Fall annehmen, dass ein Instrument erst zu verfertigen sey. Gesetzt, es soll an einem Aräometer die spezifische Schwere von 1,00 bis 0,90 angezeigt und die Zwischenabtheilungen der Tausendtel deutlich ausgedrückt werden.

Da hier 100 Theilungen vorkommen, so muss ein Theil, um deutlich sichtbar zu seyn, die Länge einer N. Oe. Linie erhalten. Die Länge des Rohres muss daher mindestens 100 Linien $= 8\frac{1}{3}$ Zoll betragen. Nach Gleichung (V) ist $n = \frac{1}{1 + \frac{p \cdot x}{Q \cdot a}}$. Da diess Instrument für spezifisch leichtere Flüssigkeiten als Wasser bestimmt ist, so muss für den Fall als $n = 0{,}90$, die Höhe der Skale $x =$ der Länge des Rohres a seyn. Wir haben daher $0{,}90 = \frac{1}{1 + \frac{p}{Q}}$, woraus $\frac{p}{Q} = \frac{1}{9}$ folgt; das Rohr muss daher so beschaffen seyn, dass das Zulagsgewicht p den 9ten Theil vom Gewichte des ganzen Instrumentes beträgt. Weil man aber diese Gewichte erst abwägen und durch Versuche bestimmen müsste, so ist es vortheilhafter statt $\frac{p}{Q}$ die Werthe $\frac{56{,}4\, f \cdot a}{56{,}4 \cdot K} = \frac{f \cdot a}{K}$ zu setzen. Hieraus sieht man, dass der kubische Inhalt des Rohres der 9te Theil des kubischen Inhaltes der Kugel seyn müsse. Diess lässt sich, wenn man eine Auswahl aus mehreren bereits fertigen Instrumenten hat, von freiem Auge beiläufig beurtheilen.

Nehmen wir an, das Aräometer senke um 9 Zoll, wenn der 10te Theil von Q oben aufgelegt wird, so ist $a = 9$ Zoll $= 108$ Linien für $p = \frac{Q}{10}$. Da die 108 Linien in 100 Theile zu theilen kommen, so erhält ein Theil beinahe eine Linie Länge, welches unserer Aufgabe entspricht. Nun ist $n = \frac{1}{1 + \frac{p \cdot x}{10\, p \cdot a}} = \frac{1}{1 + \frac{x}{10 \cdot 108}}$ und hieraus $x = 1080 \left(\frac{1 - n}{n}\right)$.

Diess gibt folgende Werthe:

für	ist d. Höhe d. Skale oder x		Differenzen.
$n = 1{,}00$	$x = 0{,}0000$	Linien	
			10,9091
$n = 0{,}99$	 $x = 10{,}9091$	„	
			11,1317
$n = 0{,}98$	 $x = 22{,}0408$	„	
			11,3613
$n = 0{,}97$	 $x = 33{,}4021$	„	
			11,5979
$n = 0{,}96$	 $x = 45{,}0000$	„	
			11,8421
$n = 0{,}95$	 $x = 56{,}8421$	„	
			12,0941
$n = 0{,}94$	 $x = 68{,}9362$	„	
			12,3541
$n = 0{,}93$	 $x = 81{,}2903$	„	
			12,6227
$n = 0{,}92$	 $x = 93{,}9130$	„	
			12,9002
$n = 0{,}91$	 $x = 106{,}8132$	„	
			13,1868
$n = 0{,}90$	 $x = 120{,}0000$	„	

Aus dieser Rechnung sieht man abermals, dass die Abtheilungen für gleiche Aenderungen der spezifischen Schwere eine ungleiche Länge haben und dass es sehr gefehlt

wäre, wenn man die ganze Länge $x = 120$ Linien in 10 Theile theilen wollte. In diesem Falle wäre nämlich $\frac{1}{10} \cdot 120 = 12$, wogegen wir oben 10,91 Linien

$\frac{2}{10} \cdot 120 = 24$; „ „ 22,04 „ u. s. w. fanden.

Um in unserem Falle für die spezifischen Schweren $n = 0{,}999$, dann $0{,}998$ die Werthe für x zu finden, kann man sich entweder durchaus der Rechnung bedienen oder man berechnet nur die Werthe von 5 zu 5 Theilen, demnach in der obigen Tabelle noch einen Mittelwerth; für $n = 0{,}995$ ist $x = 5{,}4271$ Linien, für $n = 0{,}985$ ist $x = 16{,}4467$ Linien Da der Abstand für 5 Theile nunmehr unbedeutend ist, so kann man denselben von freier Hand aus zertheilen, und so das ganze Instrument verfertigen.

§. 40.

Ist ein Aräometer für spezifisch schwerere Flüssigkeiten als Wasser zu verfertigen, so tauche man es zuerst in reines Wasser ein, und schütte so lange Bleischrotte oder Quecksilber hinein, bis es bei dem äussersten Punkt der Skale c d stehen bleibt. Bezeichnet wieder K den Kubikinhalt des bis c d eingetauchten Instrumentes und Q sein absolutes Gewicht, so ist $56{,}4\,K = Q$ und $K = \frac{Q}{56{,}4}$. Man schüttet nunmehr eine Quantität Schrote oder Quecksilber hinein, bis das Instrument bis a b eingetaucht ist. Bezeichnet Q' das dermalige Gewicht des Instrumentes in der Luft, so ist $Q' - Q = p$, und bezeichnet f die Querschnittsfläche des Rohres und a die Höhe a c so ist $56{,}4 \, . \, f \, . \, a = p$, und $f = \frac{p}{56{,}4 \, . \, a}$. Ist K und f auf diese Art bestimmt, so wird das Instrument in die zu untersuchende spezifisch schwerere Flüssigkeit eingesenkt. Bleibt es bei e g an der Oberfläche dieser Flüssigkeit und nennen wir n die spezifische Schwere der letztern und die Höhe $e\,a = x$, so ist $(K + f\,.\,a - f\,.\,x)\, n \,.\, 56{,}4 = Q'$, und wenn die Werthe für K und f substituirt werden $\left(\frac{Q'}{56{,}4} - \frac{p\,.\,x}{56{,}4\,.\,a}\right) n \,.\, 56{,}4 = Q'$, woraus $x = \frac{a\,.\,Q'}{p}\left(\frac{n-1}{n}\right)$ folgt. Auf gleiche Art ist für das Gewicht eines Kubikfusses y die Länge der Skale $x = \frac{a\,.\,Q'}{p}\left(\frac{y - 56{,}4}{y}\right)$. Fig. 11. Tab. 42.

Beispiel. Es sey wie im vorigen §. $Q' = 10$ Loth, $a = 9$ Zoll und $p = 1$ Loth, so ist für die spezifischen Schweren $x = 90\left(\frac{n-1}{n}\right)$.

			Differenzen.
Nehmen wir nun	$n = 1{,}00$	so ist $x = 0{,}0000$ Zoll	
	$n = 1{,}01$	. . $x = 0{,}8911$ „	0,8911
	$n = 1{,}02$	. . $x = 1{,}7647$ „	0,8736
	$n = 1{,}03$	. . $x = 2{,}6214$ „	0,8567
	$n = 1{,}04$	. . $x = 3{,}4615$ „	0,8401
	$n = 1{,}05$	. . $x = 4{,}2857$ „	0,8242

u. s. w. Will man aber das Instrument für die Gewichte der Kubikfusse einrichten, so ist $x = 90\left(\frac{y - 56{,}4}{y}\right)$, also

		Differenzen,
für $y = 56,4$	die Höhe der Skale $x = 0,0000$ Zoll	
$y = 57,0$	 $x = 0,9474$ „	0,9474
$y = 57,5$	 $x = 1,7217$ „	0,7743
$y = 58,0$	 $x = 2,4828$ „	0,7611
$y = 58,5$	 $x = 3,2308$ „	0,7480
$y = 59,0$	 $x = 3,9661$ „	0,7353

u. s. w. Man sieht, dass auch hier die Unterschiede der Entfernungen für gleiche spezifische Schweren ungleich sind, und zwar sind die obern Abtheilungen (indem hier x von oben gezählt wird) grösser, als die untern Abtheilungen, so wie es auch im vorigen §. der Fall war.

Hat man ein bereits fertiges Instrument und man will beurtheilen, bis zu welcher spezifischen Schwere dasselbe zu gebrauchen ist, so hat man, wenn in der vorigen Gleichung $x = a$ gesetzt wird $(Q' - p)\,n = Q'$, also $n = \frac{Q'}{Q' - p}$. Soll nun die Skale z. B. bis $n = 1,3$ reichen, so muss $1,3 = \frac{Q'}{Q' - p}$, also $p : Q' = 3 : 13$ sich verhalten, und weil sich $p : Q' = f.a : K + f.a$ verhält, so muss der kubische Inhalt des Rohres wenigstens $^3/_{13}$ vom kubischen Inhalte des ganzen Instrumentes betragen.

§. 41.

Es gibt noch eine Gattung von Aräometern, welche S o o l - oder S a l z w a g e n genannt werden. Die E i n r i c h t u n g derselben ist ganz so, wie bei den bisher beschriebenen Aräometern; ihre B e s t i m m u n g aber ist, den Gehalt an Salz, welches sich im Wasser aufgelöst befindet, auszumitteln. Man gebraucht nämlich diese Wagen in Salz-, Salpeter-, Pottasche-, oder andern Siedereien, um zu erkennen, ob die Lauge oder Soole so viel Salz enthalte, dass die Feuerungskosten zur Verdampfung des Wassers durch das gewonnene Salz ersetzt werden oder dass die Soole sudwürdig sey. Die Skale dieser Wage wird bloss durch Versuche bestimmt.

Zu diesem Behufe beschwert man zuerst das Aräometer so lange, bis es in reinem Wasser bis zu dem, am oberen Ende der Skale bezeichneten Punkt einsinkt, diesem Punkte wird 0 beigesetzt; nun löst man in einer bestimmten Quantität z. B. einem Pfunde Wasser ein Loth Pottasche oder Salpeter auf, wodurch das Wasser dichter und spezifisch schwerer wird, demnach auch das Instrument nicht mehr so tief als in reinem Wasser einsinkt; zu dem betreffenden Punkte wird 1 Loth beigesetzt und hiermit angedeutet, dass in jedem Pfunde der Soole 1 Loth Salz enthalten sey. Auf gleiche Art kann nun weiter verfahren und hiernach die ganze Skale verfertigt werden. Da jedoch diese Instrumente je nach ihren Dimensionen verschiedene Skalen erhalten, so hat man vorgezogen, durch Versuche für diese Laugen die spezifischen Schweren bei verschiedenen Prozenten von Salz zu bestimmen. Hierüber sind in *Gilbert's* Annalen der Physik 35. Band, Leipzig 1810, Seite 361 u. ff. umständliche Versuche vom Herrn *J. A. Bischof* mit Kochsalzsoolen enthalten. Wir theilen einen Auszug hievon Seite 44 mit, worin für die verschiedenen Kochsalzgehalte die spezifischen Schweren der Soolen angeführt sind. Findet man nun, dass eine Salzsoole z. B. die

spezifische Schwere von 1,110 hat, so wird auch der Salzgehalt 15 Prozent betragen. Sobald daher solche Tabellen vorliegen, kann durch den Gebrauch eines Aräometers, der die spezifische Schwere anzeigt, der Gehalt an Kochsalz sogleich bestimmt werden.

Auf gleiche Art lässt sich der Gehalt an Kali in einer Lauge nach den Seite 42 hierüber angeführten Versuchen des englischen Chemikers *Dalton* bestimmen, indem man ebenfalls die spezifische Schwere der Kalilauge untersucht, und die hierzu gehörigen Prozente von Kali in der Tabelle aufsucht. Auf dieselbe Art hat man für mehrere andere Soolen oder Laugen die spezifischen Schweren bei verschiedenen Prozenten Inhalt von Salzen etc. bestimmt und in Tabellen zusammengestellt, worüber in der Chemie umständlicher gehandelt wird.

§. 42.

Mit Anwendung der für die Bestimmung der spezifischen Schwere angegebenen Methoden haben verschiedene Physiker die Dichte der Körper untersucht. Das nachstehende Verzeichniss ist ein Auszug aus der Tafel der spezifischen Schweren oder Dichten, welche in dem Supplementbande der Physik vom Herrn Professor *Baumgartner* (Wien 1831) enthalten ist; die beigefügten Namen bezeichnen die Physiker, welche die Bestimmungen vorgenommen haben.

Name der Körper.	Dichte.	Name der Körper.	Dichte.
Alabaster . . nach *Brisson*	2,611 2,811	Blei mit Wismuth legirt zu gleichen Theilen	10,709
Alaun	1,753	Blei, essigsaures (Bleizucker) .	2,395 2,745
Alaunschiefer . . Kirwan	2,339 2,588	Bleiglanz (hexaed.) . . *Mohs*	7,5 7,6
Alkohol absoluter bei 20° C. *Schmidt*	0,791	Blut des Menschen . . .	1,054
Amethyst	2,655	Brauneisenstein (prismat. Eisenerz) *Mohs*	3,8 4,2
Ammoniak concentrirt . . .	0,875	Braunkohle, (harzige Steink.) *Mohs*	1,270
„ kohlensaures, *Hassenfratz*	0,966	Braunstein, schwarz . . .	4,722
Asbest *Brisson*	0,908	Buntkupfererz (rhomb.) Kupferkies *Mohs*	4,9 5,1
„ biegsamer . . .	2,444	Butter *Brisson*	0,942
„ gemeiner	2,050 2,675	Campfer . . . *Brisson*	0,9857
Baryte *Mohs*	3,3 7,3	Cautschouc . . . *Brisson*	0,989
Basalt	2,421 3,330	Chalcedon	2,207 2,691
Bergkrystall, farbelos . . .	2,650	Chrom	5,900
Bernstein, durchscheinend . .	1,078	Chrysopras	2,459
Bier, braun *Brisson*	1,039	Copal aus China	1,063
„ weiss „	1,023	„ dunkel	1,139
Bimsstein	0,914 1,647	„ durchscheinend . . .	1,040
Blei, reines . . . *Kupffer*	11,3303	Diamant (octaed.) weiss . *Mohs*	3,520
„ gepresst . . *Morveau*	11,388		

Name der Körper.	Dichte
Diamant blau . . *Haidinger*	3,525
„ brasilianisch . „	3,444
„ farbelos orientalisch „	3,521
„ grün „	3,523
„ orange . . . „	3,550
„ rosenroth . . . „	3,531
Eis, nach *Musschenbroek* . .	0,888
„ *Kraft*	0,905
„ *Irvine*	0,937
„ *Williams* . . .	0,945
„ *Heinrich* . . .	0,905
„ *Royer* und *Dumas* .	0,950
„ *Osann*	0,927
Eisen, (octaed.) gediegen . *Mohs*	7,768
„ gegossen . . . *Brisson*	7,207
„ geschmiedet . . .	7,788
„ phosphorid	6,700
„ Roheisen	7,251
Eisenocher	2,950
Elfenbein	1,825
Erze, nämlich:	
Zinkerz *Mohs*	5,4 5,5
Kupfererz „	5,6 6,0
Zinnerz „	6,3 7,1
Eisenerz „	3,3 5,3
Ey von einer Henne	1,090
Fett von	
Hammel . . . *Brisson*	0,924
Kalb	0,934
Ochsen	0,923
Schwein.	0,937
Feuerstein	2,580 2,630
Gerste	1,278
Glanze, nämlich:	
Silberglanz *Mohs*	6,9 7,2
Bleiglanz „	7,4 7,6
Glas, böhmisches Bouteillenglas bis	2,732
„ aus Glaubersalz	2,545
„ aus Borax	2,600

Name der Körper.	Dichte.
Glas, Fensterglas	2,642
„ Krystallglas	2,892
„ gemeines Flaschenglas .	2,760
„ französisch weisses . .	2,892
Spiegelglas von St. Gobin . .	2,370
„ von Neuhaus . .	2,560
„ englisches . . .	2,450
Flintglas englisches . . .	3,373 3,442
„ französisches	3,158 3,200
„ deutsches von Körner .	3,341
„ von Fraunhofer . . .	3,779
Glanzkohle (harzlose Steink.) *Mohs*	1,482
Glimmer, Eisenglimmer . *Mohs*	2,6 2,7
Gold rein geschmolzen . *Haüy*	19,2527
„ gehämmert . . *Brisson*	19,362
„ gemünzt in holländischen Dukaten . . . *Brisson*	19,352
„ gemünzt in kaiserl. Dukaten	18,852
„ „ in englischen Guineen *Brisson*	17,629
„ französisches Geld . .	17,553
Goldplatin . . . *Prinsep*	
bestes aus 100 Th. G. 0 Pl.	19,36
„ 99 „ 1 „	18,4
„ 98 „ 2 „	19,0
„ 97 „ 3 „	19,0
„ 96 „ 4 „	19,3
„ 95 „ 5 „	19,1
„ 94 „ 6 „	18,6
„ 93 „ 7 „	18,7
„ 92 „ 8 „	19,5
„ 91 „ 9 „	19,4
„ 90 „ 10 „	18,7
„ 89 „ 11 „	18,0
„ 88 „ 12 „	19,4
„ 87 „ 13 „	18,8
„ 86 „ 14 „	18,6
„ 85 „ 15 „	20,0
„ 84 „ 16 „	19,1
„ 83 „ 17 „	19,2
„ 82 „ 18 „	20,5
„ 81 „ 19 „	20,9
„ 80 „ 20 „	18,9

Name der Körper.	Dichte.
Goldplatin . . . *Prinsep*	
bestes aus 75 Th. G. 25 Pl.	20,9
„ 70 „ 30 „	20,0
„ 65 „ 35 „	19,9
„ 60 „ 40 „	19,9
„ 55 „ 45 „	18,9
„ 50 „ 50 „	20,0
Granat (dodek.) gemein braun, *Mohs*	3,769
„ edler aus Tyrol . *Mohs*	4,098
Granit grau	2,728
„ grün von Dauphiné . .	2,683
Graphit . . . *Karsten* {	2,247 2,419
Gummi Gutti . . *Brisson*	1,2216
Gusstahl	7,919
Gyps (prismatoid. Gypshaloid) durchsichtiger . . *Mohs*	2,310
„ blättriger . . *Haidinger*	2,473
„ kompakter . . . „	1,872
„ halbdurchsichtiger . „	2,3062
„ undurchsichtiger . „	2,1673
Holz:	
„ Ahorn, frisch . *Schmidt*	0,9036
„ „ getrocknet . .	0,6592
„ Birke, frisch . . .	0,9012
„ „ getrocknet . *Schmidt*	0,6274
„ Birnbaum	0,9012
„ Brasilienholz . *Griffith*	1,132
„ Buchen, Splint	
„ „ trocken . *Schmidt*	0,982
„ „ frisch . . .	0,591
„ „ Stamm frisch .	0,9476
„ „ „ trocken .	0,5474
„ Buxbaum . *Musschenbroek*	1,33
„ Campeschen „ .	0,9130
„ Cypressen	0,644
„ Ebenholz . . *Griffith*	1,226
„ Edeltanne . . *Schmidt*	
„ „ frisch . . .	0,8941
„ „ getrocknet . .	0,5550
„ Eichen vom Kern 60 Jahre alt	1,170
„ Erle, frisch . . *Schmidt*	0,8571
„ „ getrocknet . . .	0,5001
„ Esche, frisch . . .	0,9036
„ „ trocken . *Schmidt*	0,6440
„ „ Zweige frisch . .	0,734
„ „ trocken . . .	0,580

Name der Körper.	Dichte
Holz:	
„ Espe, frisch, . *Schmidt*	0,7654
„ „ getrocknet. . .	0,4302
„ Guajakholz . . *Griffith*	1,341
„ Hainbuche, frisch *Schmidt*	0,9452
„ „ getrocknet .	0,7695
„ Königsholz . . *Griffith*	1,069
„ Kork	0,240
„ Kiefer, frisch . *Schmidt*	0,9121
„ „ getrocknet . .	0,5501
„ Lerche, frisch . *Schmidt*	0,9206
„ „ getrocknet . .	0,4735
„ Linden, frisch . *Schmidt*	0,8170
„ „ getrocknet . .	0,4390
„ Mahagony	1,06
„ Mehlbeere, frisch, *Schmidt*	0,8633
„ „ getrocknet .	0,5910
„ Nussbaum	0,677
„ Pappel, gemeine . . .	0,383
„ „ spanische weiss .	0,529
„ „ ital. frisch . .	0,7634
„ „ getrocknet *Schmidt*	0,3931
„ Pflaumenbaum . . .	0,785
„ Pomeranzenbaum . .	0,705
„ Rosskastanie, frisch, *Schmidt*	0,8614
„ „ getrocknet .	0,5749
„ Rothtanne, frisch, *Schmidt*	0,8699
„ „ getrocknet . .	0,4710
„ Saalweide, frisch *Schmidt*	0,7155
„ „ getrocknet .	0,5289
„ Schwarzpappel, frisch, *Schmidt*	0,7795
„ „ getrocknet .	0,3656
„ Sommereiche vom Kern .	0,618
„ „ frisch . .	0,695
„ „ trocken . {	0,720 0,795
„ „ vom Splint, frisch	0,610
„ „ „ Stamme, frisch {	0,845 0,850
„ „ „ Wurzel, frisch	0,880
„ „ „ Zweigen, frisch {	0,698 0,780
„ Steineiche {	0,900 1,100
„ Stieleiche frisch *Schmidt*	1,0494
„ „ getrocknet . .	0,6777
„ Traubeneiche, frisch . .	1,0754

Name der Körper.	Dichte
Holz:	
„ Traubeneiche getrocknet *Schmidt*	0,7075
„ Tulpenholz *Griffith*	1,070
„ Ulme, frisch *Schmidt*	0,9476
„ „ getrocknet	0,5474
„ Weide, weisse, frisch *Schmidt*	0,9859
„ „ getrocknet	0,4873
Honig	1,450
Jaspis, blutrother	2,6277
„ grauer	2,764
„ grüner	2,6274
„ wolkiger	2,7354
Judenpech	1,104
Kalilauge nach *Dalton* mit	
100,0 Theilen Kali	2,40
84,0 „ „	2,20
72,7 „ „	2,00
63,6 „ „	1,88
56,8 „ „	1,78
51,2 „ „	1,68
46,7 „ „	1,60
42,9 „ „	1,52
39,6 „ „	1,47
36,8 „ „	1,44
34,4 „ „	1,42
32,4 „ „	1,39
29,4 „ „	1,36
26,3 „ „	1,33
23,4 „ „	1,28
19,5 „ „	1,23
16,2 „ „	1,19
13,0 „ „	1,15
9,5 „ „	1,11
4,7 „ „	1,06
Kali arseniksaures	1,80
„ chromsaures	2,612
„ kohlensaures	1,4594
„ salpetersaures	1,98
„ salzsaures	1,8365
„ schwefelsaures	2,636
„ saures, weinsteinsaures	1,900
Kalium bei 0° C.	0,8651
Kalk:	
„ ätzender	1,842
„ essigsaurer *Hassenfratz*	1,005
Kalkspath *Beudant*	2,723

Name der Körper	Dichte.
Kalkstein (rhomb. Kalkhaloid) *Mohs*	2,721
Kalkstein blättrig	2,710
	2,837
„ fest	1,386
	2,720
„ sandig	2,742
Kanonengut	8,441
	9,235
Kieselerde	2,743
Knochen (Ochsen.)	1,656
Kobalt, gegossen	7,811
Kochsalz (hex. Steinsalz) *Mohs*	2,257
Kohlen aus Eichenholz	1,573
„ „ Pappelholz *Chenevix*	0,12372
	0,18743
„ „ Steinkohlen destillirt, *Herapath*	1,365
„ „ Tannenholz	0,600
Korallen, rohe *Musschenbroek*	2,6889
Kreide	2,797
	2,657
Kupfer, gegossen	7,788
„ gehämmert	8,878
„ gezogen zu Draht	8,78
„ von Sibirien	8,508
„ „ Ungarn	7,728
Kupferkies (pyramid.) *Mohs*	6,169
Kupferlazur	3,831
Kupfervitriol aus Böhmen	6,607
„ „ Sachsen	6,648
Kupferzinn, 6,25 Kupfer 1 Zinn *Buchholz*	8,880
„ 3 „ 1 *Chrichton*	8,879
„ 1 „ 1 *Buchholz*	8,468
	8,790
„ 1 „ 3 *Chrichton*	7,843
„ 1 „ 10 *Chrichton*	7,472
Lava	2,795
	2,823
Magneteisenstein (octaed. Eisenerz)	4,8
Mohs	5,2
Mangan *Bachmann*	8,0301
	8,013
Marmor:	
„ carrarischer	2,717
„ französischer	2,649

Name der Körper.	Dichte.
Marmor:	
„ florentinischer gelb .	2,516
„ norwegischer . .	2,728
„ schweizer	2,714
Meerschaum . . *Klaproth*	1,600
Mennig	8,940
Messing	7,600 8,300
Meteorstein	1,94 3,800
Milch von Kühen . . *Brisson*	1,032
„ „ Schafen . „	1,041
„ „ Ziegen . „	1,034
Oehle:	
„ Fenchel	0,9294
„ „ Samen . . .	1,003
„ Kümmel . . *Brandes*	0,975
„ Lavendel . . .	0,9480
„ Leinsamen . . .	0,928 0,9530
„ Mais	0,9538
„ Mohn	0,929
„ Nuss	0,947
„ Oliven	0,915
„ Oliven grüne . *Brandes*	0,9135
„ „ gelbe . . .	0,922
„ „ weisse . . .	0,9275
„ Pfeffermünze . . .	0,9550
„ Raps	0,9193
„ Rosen bei 32°,5 . .	0,8320
„ Terpentin . *Brandes*	0,8725
„ Wachholder . . .	0,911 0,858
„ Wallnüsse . . .	0,923
Opal (untheilb. Quarz) *Haidinger*	1,700 2,118
Packfong, gegossen *Baumgartner*	8,517
„ zu Blech gewalzt „	8,563
„ zu Draht gezogen „	8,553
Pechkohle	1,29 1,350
Phosphor	1,770 1,821
Platin gediegen . . . *Mohs*	17,332
„ in Naturkörnern . . .	15,600 17,200
Platin gemünzt	21,012 22,100
„ geschmolzen . . .	20,857
„ gewalzt	22,069
Porzellain:	
„ Berliner . .	2,293
„ chinesisches . .	2,384
„ französisches . .	2,145
„ sächsisches . .	2,493
„ Wiener feinstes .	2,209 2,387
Quarz (rhomboedr.) . *Haidinger*	2,640 2,670
. . . . *Beudant*	2,690 2,654
Quecksilber bei 0° C. . . .	13,598
Raseneisenstein . . *Karsten*	2,603
Reissblei	1,987 2,089
Rotheisenstein (rhomb. Eisenerz) *Mohs*	5,251
Rothgiltigerz (rhomb. Rubinblende) *Mohs*	5,846
Rothkupfererz (octaedr. Kupfererz) *Mohs*	5,992
Rothspiesglanzerz (prism. Purpurblende) . . . *Mohs*	4,5 4,6
Salmiak	1,420 1,453
Salpeter	1,93
Sandstein zum Pflaster . . .	2,416
„ von Bristol . . .	2,510
„ „ St. Cloud . .	2,201
Säure:	
„ Essigsäure konzentrirteste .	1,063
„ Salpetersäure, möglichst konzentrirt . .	1,580
„ „ vollkommen weiss, konzentrirt .	1,480
„ Salzsäure	1,194
„ Schwefelsäure möglichst konzentrirt	2,125
„ Schwefelsäure, wie sie im Handel als Vitriolöhl vorkommt	1,860
„ Schwefelsäure englische .	1,848
Salmiak natürlicher . . .	1,528
Schiesspulver gehäuft . . .	0,836

Name der Körper.	Dichte.
Schiesspulver, geschüttelt . .	0,932
„ gestampft . .	1,745
Schillerspath (diatomer) . *Mohs*	2,6 2,8
Schwarzkohle (harzige Steinkohle) *Mohs*	1,271
Schwefel natürlicher . . *Mohs*	1,9 3,6
Schwefelkies (hexaedr.) . *Mohs*	4,9 5,05
Schwerspath (prism. Halbaryt) . „ blassgelb von Harz . . . *Haidinger*	4,426
Serpentin *Mohs* . . . *Haidinger*	2,684 2,507 2,560
Silber, gegossen . . .	10,474
„ gehämmert	10,511
„ Sterling oder englisches Probesilber	10,200
Silber in Zwanzigern . . .	9,217 10,106
Soole von Kochsalz bei 15° R. mit 0,71 p. c. Salz, *Bischof*	1,005
1,42	1,010
2,11	1,015
2,82	1,020
3,52	1,025
4,21	1,030
4,91	1,035
5,60	1,040
6,28	1,045
6,97	1,050
7,65	1,055
8,33	1,060
9,01	1,065
9,68	1,070
10,35	1,075
11,02	1,080
11,69	1,085
12,35	1,090
13,02	1,095
13,67	1,100
14,33	1,105
14,99	1,110
15,64	1,115
16,29	1,120
16,94	1,125
17,59	1,130
18,23	1,135
18,88	1,140
19,52	1,145
20,15	1,150
20,79	1,155
21,43	1,160
22,06	1,165
22,69	1,170
23,32	1,175
23,95	1,180
24,57	1,185
25,19	1,190
25,82	1,195
26,44	1,200
27,05	1,205
Spathe:	
„ Feldspath . . *Mohs*	2,5 2,8
„ Spatheisenstein (parachros Baryt) . . *Mohs*	3,829
Stahl, gehämmert . . .	7,840
„ gehärtet im Wasser . .	7,816
„ gehämmert und gehärtet im Wasser . . .	7,818
„ weicher	7,833
Stangenkohle (harzlose Steinkohle) *Mohs*	1,400
Talg	0,942
Thon	2,680 1,800
Versteinertes Holz . . .	2,045 2,675
Vitriol, Eisenvitriol natürl. . *Mohs*	1,832
„ Danziger . . .	1,715
„ englischer . . .	1,839 1,880
„ Kupfervitriol . *Hoffmann*	2,194 2,230
„ natürl. Zinkvitriol . *Mohs*	2,036
Wachs, gelbes . . *Brisson*	0,965
„ weisses . . *Brisson*	0,969
Wasser, rein destillirt . . .	1,000
Regenwasser bei 14° R. von der grössten Dichte, *Zimmermann*	1,0001 1,0013

Name der Körper.	Dichte.
Wasser vom Meere und zwar: in einer geographischen	
Breite — Länge	
30° 6′ Süd — 11° 42′ Ost *J. Davy*	1,02667
26° 55′ — 7° 34′ . . .	1,02671
6° 0′ Nord — 19° 17′ West .	1,02667
9° 5′ — 25° 8′ . . .	1,02671
12° 6′ — 28° 28′ . . .	1,02671
15° 56′ — 32° 38′ . . .	1,02672
18° 15′ — 34° 6′ . . .	1,02672
20° 55′ — 35° 49′ . . .	1,02823
23° 27′ — 37° 8′ . . .	1,02823
28° 1′ — 37° 57′ . . .	1,02762
31° 8′ — 38° 27′ . . .	1,02823
34° 8′ — 37° 57′ . . .	1,02742
42° 10′ — 30° 36′ . . .	1,02721
44° 51′ — 26° 37′ . . .	1,02721
47° 5′ — 14° 12′ . . .	1,02721
49° 3′ — 8° 1′ . . .	1,02648
vom todten Meere . *Gmelin*	1,245 1,21223
Wasser Mineral von Baaden bei 13° bis 14° R. . . .	1,004
„ Gastein	1,0002
„ Karlsbader Sprudel, *Berzelius*	1,004975
„ Liebwerdaer . . *Reuss* Christiansquell bei 8° R. .	1,0009
„ Marienbader Ferdinandsquelle bei 8° R. *Steinmann*	1,004627
„ Saidschützer Bitterwasser vom Hauptbrunnen . .	1,01761
Wein, Bordeaux . . *Brisson*	0,994
„ Champagner . . *Brisson*	0,998
„ französischer weisser .	1,02
„ Malaga . . *Brisson*	1,022
„ Mosler	0,916
„ österreicher . . .	1,000
„ Rhein	0,999
„ Tokayer . . *Brisson*	1,054
Weitzen	1,346
Wismuth, gegossen . . .	9,756 9,822
Zink, geschmolzen . *Brisson*	6,861

Name der Körper.	Dichte.
Zink zusammengepresst *Brisson*	7,191
„ gegossen	7,190
Zinn möglichst rein . *Kupffer*	7,2912
„ aus Böhmen gegossen .	7,312
„ „ England . *Brisson*	7,291
Zinnblei, 1 Th. Zinn 1 Th. Blei .	8,8640
2 „ 3 „ . .	9,2653
1 „ 2 „ . .	9,5535
2 „ 5 „ . .	9,7701
1 „ 3 „ . .	9,9387
2 „ 7 „ . .	10,0734
1 „ 4 „ . .	10,1832
3 „ 2 „ . .	8,4973
2 „ 1 „ . .	8,2669
5 „ 2 „ . .	8,1094
3 „ 1 „ . .	7,9942
Zinnober (peritom. Rubinblende) .	8,098
„ dunkelroth . . .	7,786
Zucker, (weiss)	1,6065
Gase und Dünste.	
Athmosphärische Luft *Gay-Lussac*	1,0000
Alkoholdunst . . *Gay-Lussac*	1,6133
Arsenikdunst . . *Dumas*	5,1839
Chlorgas *Gay-Lussac* u. *Thenard*	2,4216
Kohlensäuregas *Berzelius* u. *Dulong*	1,5245
Kohlenoxydgas . *Cruitschanks*	0,9569
Kohlenwasserstoffgas im Maximum *Thomson*	0,9816
„ im Minimum *Thenard*	0,5596
„ aus Steinkohlen .	0,300 0,654
Salpetergas . . . *Bérard*	1,0388
Sauerstoffgas . . *Biot* u. *Arago*	1,10359
Schwefeldunst . . *Thomson*	1,1111
Schwefelwasserstoffgas. *Gay-Lussac* u. *Thenard*	1,1912
Stickgas . *Berzelius* u. *Dulong*	0,9757
Terpentinöhldunst *Gay-Lussac*	5,0130
Wasserdunst . . *Gay-Lussac*	0,6231
Wasserstoffgas *Berzelius* u. *Dulong*	0,0688

§. 43.

Die vorstehende Tabelle über die spezifischen Schweren gewährt viele Anwendungen in der Ausübung. Hierunter gehört auch die Untersuchung, wie bei einer aus zwei verschiedenen Metallen bestehenden Mischung die Antheile eines jeden Metalles durch Rechnung auszumitteln seyen. Die erste Lösung dieser Aufgabe wird dem Griechen *Archimedes*, der im Jahre 287 vor Christi Geburt zu Syrakus geboren wurde, zugeschrieben. *Vitruv* erzählt (IX, 3), dass der König *Hiero* zu *Syrakus* für den glücklichen Fortgang seiner Regierung den Göttern eine goldene Krone zu opfern versprochen habe, wozu er dem Goldarbeiter ein bestimmtes Gewicht Gold übergab und zur Gegenprobe ein gleiches Gewicht Blei hinterlegen liess. Die hieraus verfertigte Krone hatte richtig dasselbe Gewicht wie die Gegenprobe, sie war überdiess sehr schön gearbeitet, und mit feinem Laubwerk verziert, wofür der Goldarbeiter reichlich belohnt wurde. Nach einiger Zeit wurde jedoch dem Könige hinterbracht, dass der Goldschmied einen Theil des zur Krone gegebenen Goldes zurückbehalten und dafür eben so viel Silber beigemischt habe. Dieses verdross den König um so mehr, als er glaubte, dass hierdurch sein Gelübde nicht erfüllt sey. Zur Entdeckung dieses Betruges wusste man kein Mittel, als die damals bekannte Scheidung des Goldes vom Silber, wobei aber die Krone oder wenigstens ein Theil derselben hätte zerstört werden müssen. Der König, welcher die feine Arbeit der Krone schonen, und das Fehlende den Göttern auf eine andere Art ersetzen wollte, ersuchte den *Archimedes* darüber nachzudenken, wie nicht nur der vorgegangene Betrug erwiesen, sondern auch das Quantum des beigemischten Silbers ausfindig zu machen sey. Während des Nachsinnens hierüber ging *Archimedes* zufällig in das Bad, und bemerkte, dass bei dem Eintauchen seines Körpers eben so viel Wasser aufsteigen und über die volle Badwanne überlaufen müsse, als das Volumen seines Körpers beträgt. Diese Bemerkung gab ihm das Mittel an die Hand, den kubischen Inhalt der Krone zu messen, mit dem kubischen Inhalt eines gleichen Gewichtes Gold oder Silber zu vergleichen und auf solche Art die Frage vollkommen aufzulösen. Er liess sich demnach gleiche Gewichte von Gold und Silber mit der Krone geben und füllte ein Gefäss mit reinem Wasser, in welches er zuerst das silberne Gewicht legte. Nachdem das Gefäss bis zum Uiberlaufen angefüllt war, zog er das silberne Gewicht heraus und mass das fehlende Wasser, dessen Stelle dieses Gewicht eingenommen hatte, durch Zugiessen aus dem *Sextarius* (einem Hohlmasse) bis zur vollen Anfüllung des Gefässes. Dasselbe geschah mit dem goldenen Gewichte. Nachdem er auf solche Art den kubischen Inhalt der mit der Krone gleichen Gewichte sowohl von Silber als auch von Gold genau bestimmt hatte, legte er endlich auch die Krone in das Wasser. Hierbei zeigte sich, dass der kubische Inhalt der Krone zwar kleiner als der Inhalt des gleichen Gewichtes Silber, jedoch grösser als der Inhalt des gleichen Gewichtes Gold war, woraus sonach die vorgegangene Vermischung des Goldes sich augenscheinlich zeigte.

Die Bestimmung, wie viel Gold und wie viel Silber in der Krone vorfindig sey, ergab sich aus einer Rechnung, welche seither in allen Lehrbüchern der Arithmetik unter dem Namen der Alligazionsregel aufgenommen wurde und auf folgenden Gründen beruhet. Es sey der kubische Inhalt des mit der Krone gleich schweren Goldstückes $= G$,

und der Kubikinhalt des mit der Krone gleich schweren Silbers $= S$, das gleiche Gewicht der Krone und der beiden Gold- und Silberstücke $= K$, und der kubische Inhalt der Krone $= V$, endlich sey das Gewicht des in der Krone befindlichen Silbers $= x$ und des Goldes $= y$. Aus der bekannten Regel, dass die Gewichte gleichartiger Metalle ihrem kub. Inhalt proporzional sind, folgt $K : S = x : \frac{S.x}{K}$; der kub. Inhalt des in der Krone befindlichen Silbers ist daher $= \frac{S.x}{K}$. Auf gleiche Art ist der kub. Inhalt des in der Krone befindlichen Goldes $= \frac{G.y}{K}$. Da nun diese beiden Grössen dem Kubikinhalte V der Krone gleich seyn müssen, so erhalten wir $S.x + G.y = V.K$. Weil aber das Gewicht der beiden gemischten Theile dem Gewichte der ganzen Krone gleich seyn muss, so haben wir $x + y = K$. Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich das Gewicht des in der Krone enthaltenen Goldes $y = \left(\frac{S - V}{S - G}\right) K$, und das Gewicht des in der Krone enthaltenen Silbers $x = \left(\frac{V - G}{S - G}\right) K$.

Beispiel. Es sey das Gewicht der Krone $K = 150$ Loth, $G = 8$ Kubikzoll, $S = 14$ Kubikzoll und $V = 9$ Kubikzoll, so ist nach der Alligazionsregel der Antheil Gold $y = \left(\frac{14 - 9}{14 - 8}\right) 150 = 125$ Loth, und der Antheil von Silber $x = \left(\frac{9 - 8}{14 - 8}\right) 150 = 25$ Loth.

§. 44.

Die aufgestellte Regel scheint das Gepräge der vollkommenen Richtigkeit an sich zu haben und wurde desshalb auch seit beinahe 2000 Jahren angenommen. Der Grund derselben beruht darauf, dass *Archimedes* die Verhältnisse der Bestandtheile der Mischungen nur aus dem kubischen Maasse des verdrängten Wassers bestimmt hat, wogegen man in neueren Zeiten diesen kubischen Inhalt durch das Gewicht des verdrängten Wassers auf der Wage, also viel genauer bestimmte. Die Voraussetzung des *Archimedes*, dass die gemischten Körper vor und nach der Mischung das gleiche Volumen behalten, worauf sich dann die Gleichung $\frac{S.x}{K} + \frac{G.y}{K} = V$ gründet, ist jedoch mit den neuern Entdeckungen im Widerspruche. Diesen gemäss durchdringen sich zwei verschiedene Körper bei ihrer Mischung und haben nach erfolgter Mischung entweder ein grösseres oder kleineres Volumen, als die Volumen beider Körper zusammengenommen vor der Mischung betragen hatten, woraus dann weiter folgt, dass die spezifische Schwere im ersten Falle geringer, im zweiten Falle aber grösser, als die nach der Alligazionsrechnung gefundene spezifische Schwere seyn müsse.

Thenard führt in seinem Werke: *Traité de Chimie élémentaire théorique et pratique, Paris* 1813, *tome* 1r *pag.* 394, hierüber folgende Uibersicht an:

Metallverbindungen, deren Dichte grösser als die mittlere Dichte der Metalle ist, woraus sie bestehen.		Metallverbindungen, deren Dichte kleiner als die mittlere Dichte der Metalle ist, woraus sie bestehen.	
Gold und Zink.	Kupfer und Zink.	Gold und Silber.	Eisen und Antimonium.
Gold und Zinn.	Kupfer und Zinn.	Gold und Eisen.	Eisen und Blei.
Gold und Wismuth.	Kupfer und Palladium	Gold und Blei.	Zinn und Blei.
Gold und Antimonium.	Kupfer und Wismuth.	Gold und Kupfer.	Zinn und Palladium.
Gold und Kobalt.	Kupfer und Antimonium.	Gold und Iridium.	Zinn und Antimonium.
Silber und Zink.	Blei und Wismuth.	Gold und Nikel.	Nikel und Arsenik.
Silber und Blei.	Blei und Antimonium.	Silber und Kupfer.	Zink und Antimonium.
Silber und Zinn.	Platin und Molybdän.	Kupfer und Blei.	
Silber und Wismuth.	Palladium und Wismuth.	Eisen und Wismuth.	
Silber und Antimonium.			

§. 45.

Da dieser Gegenstand für die Ausübung von grosser Wichtigkeit ist, indem wir häufig in die Lage kommen aus der spezifischen Schwere eines Metallgemisches die beiderseitigen Antheile der Metalle zu bestimmen, so hat man in neuern Zeiten mehrere Versuche dieser Art angestellt. Wir haben bereits Seite 40 die spezifischen Schweren der Mischungen von Gold und Platin nach den Versuchen von *Prinsep*, dann Seite 42 jene der Mischungen aus Kupfer und Zinn, endlich Seite 45 die spezifischen Schweren der Mischungen von Zinn und Blei angeführt. Mehrere andere Versuche über diesen Gegenstand finden sich in den chemischen Werken. Herr Professor *Meissner* in Wien hat diesen Gegenstand in seinem ausführlichen, im Jahre 1816 über die Aräometrie bekannt gemachten Werke, vorzüglich aber die Bestimmung der spezifischen Schweren bei verschiedenen Mischungsverhältnissen des Alkohols mit Wasser, wovon wir demnächst sprechen werden, mit vieler Gründlichkeit behandelt. Die Resultate der Versuche, welche derselbe über die spezifischen Schweren der Legirungen aus böhmischem (Schlaggenwalder) Zinn und Villacher Blei anstellte, sind in der Tabelle XI seines Werkes enthalten, und Seite 50 in unserer Tabelle wieder aufgenommen. Hiervon enthält die Kolumne I. die Inhaltsmasse y des Zinnes, und II. jene des Bleies x, welche bei den Versuchen verwendet wurden, und es erscheint in III. deren spezifische Schwere nach der hierüber angestellten Beobachtung. Die Kolumne IV. enthält das berechnete spezifische Gewicht bei unveränderten Volumen, wie es die Formel $\frac{7,312 \, . \, y + 11,352 \, . \, x}{x + y}$ nach der Alligazionsrechnung gibt; die Kolumne V. enthält die korrigirte spezifische Schwere, wie sie anzunehmen ist, damit sich die auffallenden positiven und negativen Differenzen in der Kolumne III. beinahe heben. Da es allgemein bekannt ist, dass in der Natur keine Sprünge vorgefunden werden, so wird auch bei den Legirungen der Metalle ein bestimmtes Gesetz vorherrschen; wir haben demnach die Korrekzion der beobachteten spezifischen Schweren (III) in der Art vorgenommen, dass die korrigirten Zahlen (V) einem beständigen Gesetze folgen. Wie gross diese Korrekzionen seyen, ist aus der VI. Kolumne ersichtlich, woraus man zugleich sieht, dass sich die posi-

tiven und negativen Differenzen beinahe aufheben. In der Kolumne VII erscheint das Volumen der Mischung, welches durch Division der Zahlen in IV durch jene in V offenbar erhalten wurde. Wird von den gefundenen Werthen die Zahl 1,0000 abgezogen, so erhält man die Vermehrung des Volumens der jedesmaligen Mischung, welches in Kolumne VIII angeführt ist. Für diese Zahlen ist nunmehr das Gesetz aufzusuchen.

Bei näherer Betrachtung dieser Zahlen sehen wir, dass die Vermehrung des Volumens gegen die Mitte oder bei beinahe gleichen Mischungen von Zinn und Blei am grössten sey und 0,0512 betrage; von hier nimmt sie zu beiden Seiten ab und verschwindet endlich ganz, wenn $y = 0$ oder kein Zinn, und wenn $1 - y = x = 0$ oder kein Blei in der Mischung vorhanden ist. Es muss daher der allgemeine Ausdruck für diese Volumensvermehrungen die Faktoren $x . y$ enthalten, wenn wir also die Zahlen in VIII durch $x . y$ dividiren, so gibt diess die Zahlen in IX, von welchen wir annehmen können, dass sie nach einem Gesetze fortlaufen, welches sich durch die Formel $A + B . x + C x^2 \ldots$ ausdrücken lässt. Um die Werthe für A, B, C auszumitteln, setzen wir für x nach und nach die Werthe 0,1; 0,2; 0,3; woraus nachstehende 9 Gleichungen folgen:

$A + 0{,}1 B + 0{,}01 C = 0{,}192$	$A + 0{,}4 B + 0{,}16 C = 0{,}192$	$A + 0{,}7 B + 0{,}49 C = 0{,}230$
$A + 0{,}2 B + 0{,}04 C = 0{,}188$	$A + 0{,}5 B + 0{,}25 C = 0{,}201$	$A + 0{,}8 B + 0{,}64 C = 0{,}249$
$A + 0{,}3 B + 0{,}09 C = 0{,}188$	$A + 0{,}6 B + 0{,}36 C = 0{,}213$	$A + 0{,}9 B + 0{,}81 C = 0{,}270$

Wenn wir je drei dieser Gleichungen wie sie unter einander stehen, addiren, und hiernach jede derselben durch 3 dividiren, so erhalten wir:

$3 A + 0{,}6 B + 0{,}14 C = 0{,}568$	$A + 0{,}2 B + 0{,}047 C = 0{,}1893$
$3 A + 1{,}5 B + 0{,}77 C = 0{,}606$	$A + 0{,}5 B + 0{,}257 C = 0{,}2020$
$3 A + 2{,}4 B + 1{,}94 C = 0{,}749$	$A + 0{,}8 B + 0{,}647 C = 0{,}2497$

Zieht man von den letztern Gleichungen die erste von der zweiten, und die zweite von der dritten ab, so erhält man: $0{,}3 B + 0{,}21 C = 0{,}0127$

$0{,}3 B + 0{,}39 C = 0{,}0477$. Hieraus folgt $0{,}18 C = 0{,}0350$ oder C nahe $= 0{,}2$. Die Summe der zwei letzten Gleichungen gibt $0{,}6 B + 0{,}6 C = 0{,}0604$ oder $B + C = 0{,}1$, mithin $B = -0{,}1$. Werden endlich die drei zu Grunde gelegten Gleichungen addirt, so ist $3 A + 1{,}5 B + 0{,}951 C = 0{,}6410$ oder $A + 0{,}5 B + 0{,}317 C = 0{,}2137$. Substituirt man die gefundenen Werthe für B und C, so ist $A - 0{,}05 + 0{,}0634 = 0{,}2137$, daher $A = 0{,}2$. Mithin ist $0{,}2 - 0{,}1 x + 0{,}2 x^2$ oder $\frac{2 - x + 2 x^2}{10}$ das Gesetz, welchem die Zahlen der Kolumne IX am nächsten folgen.

Um die Richtigkeit dieser Ableitung zu prüfen, haben wir in der Kolumne X die Werthe des Ausdruckes $\frac{2 - x + 2 x^2}{10}$ und in XI die Produkte derselben mit $x . y$ beigesetzt. Hierzu wurde 1,0000 addirt, und hierdurch das Volumen der Mischung in XII erhalten; hieraus ergaben sich endlich durch Division der Zahlen in IV durch jene in XII die berechneten spezifischen Gewichte in der Kolumne XIII. Zum Beweise der Genauigkeit der Resultate wurden in Kolumne IV die Unterschiede der vom Herrn Prof. *Meissner* beobachteten spezifischen Schweren in III mit den nach unserm Gesetze berechneten XIII beigefügt. Man sieht hieraus, dass diese Differenzen bald positiv und bald negativ sind, und gewöhnlich nur 0,02 betragen. Die positiven Differenzen geben zusammen + 0,121,

die negativen aber —0,156; es bleibt daher —0,035 übrig. Wollte man auch diesen kleinen Unterschied noch verbessern, so wäre eine neue Korrekzion der Zahlen in III vorzunehmen, und die Rechnung auf gleiche Art durchzuführen, bis die Summe der positiven und negativen Differenzen in XIV sich aufhebt. Nachstehende Tabelle enthält die Resultate der oben angeführten Berechnungen.

Theile von Zinn. y	Theile von Bley x	Spezifische Schwere der Mischung. nach der Beobachtung.	Spezifische Schwere der Mischung. nach Rechnung bei unverändertem Volumen.	Korrigirte spezifische Schwere	Differenzen III — V.	Volumen der Mischung $\frac{IV}{V}$	Vermehrung des Volumens.	$\left(\frac{VIII}{x.y}\right)$	$\frac{2-x+2x^2}{10}$	$x.y.(X)$	Berechnetes Volumen der Mischung	Berechnete spezifische Schwere. $\frac{IV}{XII}$	Differenzen III-XIII
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
1,00	0,00	7,312	7,312	7,312	+ 0,000	1,0000	0,0000	—	—	—	—	—	—
0,95	0,05	7,430	7,514	7,445	— 0,015	1,0093	0,0093	0,196	0,196	0,0093	1,0093	7,445	—0,015
0,90	0,10	7,577	7,716	7,585	— 0,008	1,0173	0,0173	0,192	0,192	0,0173	1,0173	7,585	—0,008
0,85	0,15	7,750	7,918	7,732	+ 0,018	1,0241	0,0241	0,189	0,190	0,0242	1,0242	7,731	+0,019
0,80	0,20	7,891	8,120	7,883	+ 0,008	1,0301	0,0301	0,188	0,188	0,0301	1,0301	7,883	+0,008
0,75	0,25	8,021	8,322	8,039	— 0,018	1,0352	0,0352	0,188	0,188	0,0353	1,0353	8,038	—0,017
0,70	0,30	8,170	8,524	8,200	— 0,030	1,0395	0,0395	0,188	0,188	0,0395	1,0395	8,201	—0,031
0,65	0,35	8,362	8,726	8,365	— 0,003	1,0432	0,0432	0,190	0,190	0,0432	1,0432	8,365	—0,003
0,60	0,40	8,541	8,928	8,535	+ 0,006	1,0460	0,0460	0,192	0,192	0,0461	1,0461	8,535	+0,006
0,55	0,45	8,684	9,130	8,709	— 0,025	1,0483	0,0483	0,195	0,196	0,0485	1,0485	8,708	—0,024
0,50	0,50	8,869	9,332	8,886	— 0,017	1,0502	0,0502	0,201	0,200	0,0500	1,0500	8,888	—0,019
0,45	0,55	9,091	9,534	9,072	+ 0,019	1,0509	0,0509	0,206	0,206	0,0510	1,0510	9,071	+0,020
0,40	0,60	9,282	9,736	9,262	+ 0,020	1,0512	0,0512	0,213	0,212	0,0509	1,0509	9,264	+0,018
0,35	0,65	9,465	9,938	9,463	+ 0,002	1,0502	0,0502	0,221	0,220	0,0501	1,0501	9,464	+0,001
0,30	0,70	9,669	10,140	9,674	— 0,005	1,0482	0,0482	0,230	0,228	0,0479	1,0479	9,676	—0,007
0,25	0,75	9,885	10,342	9,898	— 0,013	1,0449	0,0441	0,239	0,238	0,0446	1,0446	9,900	—0,015
0,20	0,80	10,152	10,544	10,139	+ 0,013	1,0399	0,0399	0,249	0,248	0,0397	1,0397	10,141	+0,011
0,15	0,85	10,430	10,746	10,401	+ 0,029	1,0332	0,0332	0,260	0,260	0,0332	1,0332	10,401	+0,029
0,10	0,90	10,669	10,948	10,688	— 0,019	1,0243	0,0243	0,270	0,272	0,0245	1,0245	10,686	—0,017
0,05	0,95	11,009	11,150	11,004	+ 0,005	1,0133	0,0133	0,280	0,286	0,0136	1,0136	11,000	+0,009
0,00	1,00	11,352	11,352	11,352	+ 0,000	1,0000	0,0000	—	—	—	—	—	—

§. 46.

Mit Hülfe der vorstehenden Tabelle lassen sich nun alle Beispiele über Legirungen von Zinn und Blei auflösen.

1tes Beispiel. Man soll den Gehalt von Zinn und Blei, welcher in einem Gefässe z. B. in einem Teller enthalten ist, angeben.

Man wiege denselben in der Luft, sein absolutes Gewicht sey 14,15 Loth $=$ Q, hierauf wiege man denselben im Wasser, und fände W $=$ 12,76 Loth, so ist nach §. 28. die spezifische Schwere des Tellers $n = \frac{Q}{Q - W} = \frac{14{,}15}{14{,}15 - 12{,}76} = 10{,}18$; diess fällt zwischen

zwei Werthe in der Tabelle Kolumne XIII; wir haben nämlich

für $y = 0{,}_{20}$ und $x = 0{,}_{80}$ die berechnete spezifische Schwere $n = 10{,}_{141}$

für $y =$? „ $x =$? „ gefundene „ „ $n = 10{,}_{18}$

für $y = 0{,}_{15}$ „ $x = 0{,}_{85}$ die berechnete „ „ $n = 10{,}_{401}$

demnach $0{,}_{85} - 0{,}_{80} : 10{,}_{401} - 10{,}_{141} = 0{,}_{85} - x : 10{,}_{401} - 10{,}_{18}$ oder $5 : 26 = 0{,}_{85} - x : 0{,}_{221}$, woraus der Antheil Blei $x = 0{,}_{8075}$, demnach der Antheil Zinn $y = 0{,}_{1925}$ folgt. Will man diese Antheile im Gewichte haben, so beträgt das vorhandene Blei $0{,}_{8075} . 14{,}_{15} = 11{,}_{43}$ Loth, demnach das Zinn $2{,}_{72}$ Loth.

Wollte man dasselbe Beispiel nach der Alligazionsrechnung auflösen, so ist $x + y = 14{,}_{15}$, und $\frac{x}{11{,}_{352}} + \frac{y}{7{,}_{312}} = 14{,}_{15} - 12{,}_{76} = 1{,}_{39}$, woraus $x = 11{,}_{20}$ Loth und $y = 2{,}_{95}$ Loth folgt. Man hätte daher bei der Bestimmung des Zinnes einen Fehler von $2{,}_{95} - 2{,}_{72} = 0{,}_{23}$ Loth begangen, welches beinahe 8 Prozente des Zinngehaltes beträgt.

2tes Beispiel. Man hat eine Legirung aus Zinn und Blei, deren spezifische Schwere $= 9{,}_{465}$ ist; das vorhandene Stück wiegt 12 ℔, es fragt sich, mit wie viel Pfund Zinn es versetzt werden muss, damit die neue Mischung 20 Prozent Blei erhalte.

In der Kolumne XIII der Tabelle findet man, dass die Legirung bei der angegebenen spezifischen Schwere $0{,}_{35}$ Zinn und $0{,}_{65}$ Blei enthält. Man findet daher aus der Proportion $1{,}_{00} : 0{,}_{65} = 12 : x$ den Antheil Blei $x = 7{,}_{8}$ ℔ und daher $y = 4{,}_{2}$ ℔ Zinn, welche in dem gegebenen Stücke vorhanden sind. Nun sollen aber auf 20 ℔ Blei gerade 80 ℔ Zinn in dem geforderten Metallgemische vorhanden seyn; man findet daher das, zu den vorhandenen $7{,}_{8}$ ℔ Blei benöthigte Zinn y' aus der Proporzion $20 : 80 = 7{,}_{8} : y'$ und $y' = 31{,}_{2}$ ℔. Weil aber schon $4{,}_{2}$ ℔ Zinn in der gegebenen Legirung vorhanden sind, so folgt, dass nur noch $31{,}_{2} - 4{,}_{2} = 27$ ℔ Zinn erfordert werden. Mischt man daher die gegebene Legirung von 12 ℔ Gewicht mit 27 ℔ Zinn, so erhält man 39 ℔ Metallgemisch, wo in 100 Theilen 20 Theile Blei und 80 Theile Zinn enthalten sind.

§. 47.

Die Mischungen von Alkohol und Wasser sind bei dem vielfältigen Gebrauche des Branntweines für das bürgerliche Leben von grosser Wichtigkeit. Es handelt sich nämlich sehr häufig, den Werth des Branntweines als Handelsgegenstand zu bestimmen, und wenn derselbe wie es z. B. bei Armeelieferungen eintritt, nicht in der geforderten Stärke geliefert wurde, denjenigen Preis auszumitteln, der mit Rücksicht auf die wirkliche Güte des Branntweines, d. i. den hierin enthaltenen Alkohol, zu bezahlen kommt. Bei der Wichtigkeit dieses Gegenstandes wurden seit einer Reihe von Jahren viele Versuche dieser Art angestellt. Herr Professor *Meissner* hat in dem bereits genannten Werke den Mischungen von Alkohol und Wasser eine vorzügliche Aufmerksamkeit geschenkt. Er bestimmte nämlich mit der grössten Sorgfalt die spezifische Schwere der Mischungen von reinem Alkohol mit Wasser und zwar von 5 zu 5 Prozenten sowohl des Inhaltsmaasses als des Gewichtes. Die Tabelle XXIV in seinem Werke enthält die spezifischen Schweren dieser Mischungen, wovon wir in der folgenden Tabelle (Seite 53) die Zahlen in der I. II. und III. Kolumne aufgenommen haben. Hiervon enthält nämlich I. die Inhaltsmaasse (y) des Alkohols, II. jene (x) des Wassers und III. die beobachtete spezi-

fische Schwere von 5 zu 5 Prozenten. Die Kolumne IV enthält das berechnete spezifische Gewicht bei unverändertem Volumen, wie es die Formel 0,7932 y + x gibt. Die Kolumne V enthält die korrigirte spezifische Schwere, wie sie angenommen werden muss, wenn sich die auffallenden positiven und negativen Differenzen in der Kolumne III beinahe heben sollen. Die Vergleichung von V mit III zeigt, dass die Unterschiede oder die Korrekzionen sehr unbedeutend sind, und nur in die vierten Dezimalen fallen, demnach um so weniger beanständigt werden können, da man bei der Beobachtung die vierten Dezimalen nicht mehr ablesen konnte. Aus V wurde das Volumen in VI dadurch berechnet, indem man die Zahlen der IV. Kolumne durch jene der V. dividirte und hierauf durch Abziehung dieser Zahlen von 1,0000 die Zahlen der Kolumne VII oder die Volumensverminderung der jedesmaligen Mischung bestimmte. Für diese Zahlen muss nunmehr abermals das Gesetz aufgesucht werden.

Bei näherer Betrachtung derselben sehen wir, dass die Verminderung des Volumens in der Mitte oder bei gleichen Mischungen von Alkohol und Wasser 0,0364 betrage, und hier ein Maximum sey, dann aber von beiden Seiten abnimmt und endlich ganz verschwindet, wenn $y = 0$ oder kein Alkohol vorhanden ist, und wenn $1 - y = x = 0$ oder kein Wasser beigemischt ist. Wenn wir demnach die Zahlen in VII durch $x \cdot y$ dividiren, so erhalten wir jene in der Kolumne VIII, für welche das Gesetz auf gleiche Art abzuleiten ist, wie wir dasselbe §. 45 bei den Legirungen von Zinn und Blei entwickelt haben. Da bei diesen Versuchen die spezifischen Schweren mit mehr Genauigkeit als bei den Legirungen von Zinn und Blei bestimmt wurden, so haben wir auch bei der Entwicklung des Gesetzes $A + B \cdot x + C \cdot x^2 \ldots\ldots$ fünf Glieder angenommen. Bei der Berechnung der Koeffizienten $A, B, C \ldots\ldots$ wurden die Gleichungen 1 und 2, 3 und 4, 6 und 7, 8 und 9 addirt und mit der mittlern doppelt genommenen Gleichung verbunden. Hiernach ergab sich der Ausdruck $N = 0{,}2284 - 0{,}4592\,x + 0{,}7163\,x^2 - 0{,}0694\,x^3 - 0{,}4147\,x^4$, als die Volumensverminderung, welche für die verschiedenen Werthe von x in der Kolumne IX berechnet ist.

Um nun die Richtigkeit dieser Rechnung darzuthun, erscheint in X das Produkt der Zahlen in IX mit $x \cdot y$, oder die Verminderung des Volumens, in XI das hieraus berechnete Volumen, indem man von 1,0000 die Volumensverminderung abzog, endlich in XII die berechnete spezifische Schwere, indem man die spezifische Schwere bei unverändertem Volumen (IV) mit dem berechneten Volumen (XI) dividirte. In der letzten Kolumne XIII erscheinen die Differenzen zwischen der nach unserem Gesetze berechneten spezifischen Schwere (XII) und dem von Hrn. Professor *Meissner* beobachteten spezifischen Gewichte (III). Wir sehen hieraus, dass diese Differenzen bald positiv und bald negativ sind, und gewöhnlich nur in die vierte Dezimale fallen; da überdiess die positiven und negativen Differenzen sich beinahe aufheben, so können die Resultate unserer Rechnung als die richtigern angesehen werden. Nachstehende Tabelle enthält die eben angeführte Rechnung.

I. Alkohol. y	II. Wasser. x	III. Spezifische Schwere der Mischung nach der Beobachtung.	IV. Spezifische Schwere der Mischung nach der Rechnung.	V. Korrigirte spezifische Schwere.	VI. Volumen der Mischung. $\frac{IV.}{V}$	VII. Verminderung des Volumens.	VIII. $\frac{VII}{x \cdot y}$	IX. N.	X. x.y.N	XI. 1—x.y.N	XII. $\frac{IV}{1-x.y.N}$	XIII. Differenzen.
1,00	0,00	0,7932	0,7932	0,7932	1,0000	0,0000	—	—	—	—	—	—
0,95	0,05	0,8114	0,8035	0,8117	0,9899	0,0101	0,2126	0,2072	0,0098	0,9902	0,8115	—0,0001
0,90	0,10	0,8286	0,8139	0,8282	0,9827	0,0173	0,1922	0,1895	0,0171	0,9829	0,8281	+0,0005
0,85	0,15	0,8427	0,8242	0,8430	0,9777	0,0223	0,1749	0,1752	0,0223	0,9777	0,8430	—0,0003
0,80	0,20	0,8566	0,8346	0,8568	0,9741	0,0259	0,1619	0,1640	0,0262	0,9738	0,8570	—0,0004
0,75	0,25	0,8695	0,8449	0,8700	0,9711	0,0289	0,1541	0,1557	0,0292	0,9708	0,8703	—0,0008
0,70	0,30	0,8833	0,8552	0,8828	0,9687	0,0313	0,1490	0,1499	0,0315	0,9685	0,8830	+0,0003
0,65	0,35	0,8958	0,8656	0,8955	0,9666	0,0334	0,1468	0,1462	0,0333	0,9667	0,8954	+0,0004
0,60	0,40	0,9075	0,8759	0,9076	0,9651	0,0349	0,1454	0,1443	0,0346	0,9654	0,9073	+0,0002
0,55	0,45	0,9191	0,8863	0,9192	0,9642	0,0358	0,1446	0,1435	0,0355	0,9645	0,9189	+0,0002
0,50	0,50	0,9303	0,8966	0,9305	0,9636	0,0364	0,1456	0,1433	0,0358	0,9642	0,9299	+0,0004
0,45	0,55	0,9404	0,9069	0,9407	0,9641	0,0359	0,1451	0,1430	0,0354	0,9646	0,9402	+0,0002
0,40	0,60	0,9495	0,9173	0,9500	0,9656	0,0344	0,1433	0,1420	0,0341	0,9659	0,9497	—0,0002
0,35	0,65	0,9580	0,9276	0,9581	0,9682	0,0318	0,1398	0,1395	0,0317	0,9683	0,9580	0,0000
0,30	0,70	0,9643	0,9380	0,9651	0,9719	0,0281	0,1338	0,1346	0,0283	0,9717	0,9653	—0,0010
0,25	0,75	0,9700	0,9483	0,9709	0,9767	0,0233	0,1243	0,1264	0,0237	0,9763	0,9713	—0,0013
0,20	0,80	0,9756	0,9586	0,9761	0,9821	0,0179	0,1119	0,1141	0,0183	0,9817	0,9765	—0,0009
0,15	0,85	0,9803	0,9690	0,9806	0,9882	0,0118	0,0925	0,0965	0,0123	0,9877	0,9811	—0,0008
0,10	0,90	0,9859	0,9793	0,9854	0,9938	0,0062	0,0689	0,0726	0,0065	0,9935	0,9857	+0,0002
0,05	0,95	0,9929	0,9897	0,9916	0,9981	0,0019	0,0400	0,0413	0,0020	0,9980	0,9917	+0,0012
0,00	1,00	1,0000	1,0000	1,0000	$1,000_0$	0,0000	—	—	—	—	—	

§. 48.

Für die Ausübung ist es von Wichtigkeit das spezifische Gewicht der Mischungen von Alkohol und Wasser für jeden Unterschied von 1 Prozent Alkohol zu wissen. Zu diesem Zwecke haben wir in der nachstehenden Tabelle die von 5 zu 5 Prozent durch Rechnung gefundenen spezifischen Gewichte aus der vorigen Tabelle zum Grunde gelegt und die Zwischenwerthe für die einzelnen Prozente durch Interpolazion bestimmt; hierbei wurde nämlich die Rechnung so geführt, dass die Differenzen der spezifischen Schweren dem vorwaltenden Gesetze möglichst entsprechen und nirgends ein Sprung Statt findet.

Inhaltsmaass.		Spezifische Schwere.	Inhaltsmaass.		Spezifische Schwere.	Inhaltsmaass.		Spezifische Schwere.	Inhaltsmaass.		Spezifische Schwere.
Alkohol y	Wasser x		Alkohol y	Wasser x		Alkohol y	Wasser x		Alkohol y	Wasser x	
1,00	0,00	0,7932	0,75	0,25	0,8704	0,50	0,50	0,9299	0,25	0,75	0,9713
0,99	0,01	0,7969	0,74	0,26	0,8729	0,49	0,51	0,9320	0,24	0,76	0,9724
0,98	0,02	0,8006	0,73	0,27	0,8755	0,48	0,52	0,9341	0,23	0,77	0,9735
0,97	0,03	0,8043	0,72	0,28	0,8780	0,47	0,53	0,9362	0,22	0,78	0,9745
0,96	0,04	0,8079	0,71	0,29	0,8805	0,46	0,54	0,9382	0,21	0,79	0,9755
0,95	0,05	0,8115	0,70	0,30	0,8830	0,45	0,55	0,9402	0,20	0,80	0,9765
0,94	0,06	0,8150	0,69	0,31	0,8856	0,44	0,56	0,9422	0,19	0,81	0,9775
0,93	0,07	0,8184	0,68	0,32	0,8881	0,43	0,57	0,9441	0,18	0,82	0,9784
0,92	0,08	0,8217	0,67	0,33	0,8906	0,42	0,58	0,9460	0,17	0,83	0,9793
0,91	0,09	0,8249	0,66	0,34	0,8930	0,41	0,59	0,9479	0,16	0,84	0,9802
0,90	0,10	0,8281	0,65	0,35	0,8954	0,40	0,60	0,9497	0,15	0,85	0,9811
0,89	0,11	0,8312	0,64	0,36	0,8978	0,39	0,61	0,9515	0,14	0,86	0,9820
0,88	0,12	0,8343	0,63	0,37	0,9002	0,38	0,62	0,9532	0,13	0,87	0,9829
0,87	0,13	0,8373	0,62	0,38	0,9026	0,37	0,63	0,9549	0,12	0,88	0,9838
0,86	0,14	0,8402	0,61	0,39	0,9050	0,36	0,64	0,9565	0,11	0,89	0,9847
0,85	0,15	0,8430	0,60	0,40	0,9073	0,35	0,65	0,9580	0,10	0,90	0,9857
0,84	0,16	0,8458	0,59	0,41	0,9096	0,34	0,66	0,9595	0,09	0,91	0,9867
0,83	0,17	0,8486	0,58	0,42	0,9119	0,33	0,67	0,9610	0,08	0,92	0,9878
0,82	0,18	0,8514	0,57	0,43	0,9142	0,32	0,68	0,9625	0,07	0,93	0,9890
0,81	0,19	0,8542	0,56	0,44	0,9166	0,31	0,69	0,9639	0,06	0,94	0,9903
0,80	0,20	0,8570	0,55	0,45	0,9189	0,30	0,70	0,9653	0,05	0,95	0,9917
0,79	0,21	0,8598	0,54	0,46	0,9212	0,29	0,71	0,9666	0,04	0,96	0,9932
0,78	0,22	0,8625	0,53	0,47	0,9234	0,28	0,72	0,9678	0,03	0,97	0,9948
0,77	0,23	0,8642	0,52	0,48	0,9256	0,27	0,73	0,9690	0,02	0,98	0,9965
0,76	0,24	0,8668	0,51	0,49	0,9278	0,26	0,74	0,9702	0,01	0,99	0,9982

§. 49.

Erstes Beispiel. Werden gleiche Quantitäten z. B. 50 Seidel Alkohol mit 50 Seidel reinen Wassers vermischt, so ist die spezifische Schwere nach der Alligazionsrechnung $\frac{0{,}7932 \,.\, 50 + 1{,}0000 \,.\, 50}{100} = 0{,}8966$, dagegen die Tabelle für diesen Fall die spezifische Schwere von 0,9299 ausweist. Wir finden in derselben Tabelle bei 65 Theilen Alkohol und 35 Theilen Wasser die spezifische Schwere 0,8957, welche mit jener 0,8966 zunächst übereinkommt. Wollte man daher aus der, nach der Alligazionsrechnung berechneten spezifischen Schwere 0,8966 schliessen, dass in 100 Seideln Branntwein die Hälfte oder 50 Seidel Alkohol enthalten sind, so würde hierbei ein Fehler von 65 — 50 = 15 Seidel Statt finden, woraus wir ersehen, wie nothwendig genaue Versuche über diese Mischun-

gen sind, und welche bedeutende Fehler man nach der Berechnung bei unverändertem Volumen begehen würde.

Die Ursache dieses bedeutenden Unterschiedes liegt in der Volumensverminderung, welche nach Tabelle Seite 53, Kolumne X bei gleichen Quantitäten $0,_{0358}$, demnach bei 100 Seideln gerade $3,_{58}$ Seidel beträgt. Die Mischung von 50 Seidel Alkohol und 50 Seidel Wasser wird demnach nur $96,_{42}$ und nicht 100 Seidel betragen.

Zweites Beispiel. Man hat einen Branntwein von der spezifischen Schwere $0,_{9450}$ bestellt und zu dem Preise von a Gulden für den Eimer bedungen. Der Lieferant bringt einen Branntwein, dessen spezifische Schwere nur $0,_{9666}$ ist. Es fragt sich, zu welchem Preise man den letztern bezahlen kann?

Der Preis des Branntweins richtet sich offenbar nur nach dem Alkoholgehalt; man muss daher vorerst bestimmen, wie viel die bedungene und die abgelieferte Flüssigkeit an Alkohol enthält. Wir finden in der Tabelle, dass die Mischung von 43 Theilen Alkohol und 57 Theilen Wasser die spezifische Schwere $0,_{9441}$ hat, welche mit der bedungenen von $0,_{9450}$ als gleich angenommen werden kann. Der bestellte Branntwein sollte daher 43 Theile Alkohol enthalten und für diese war der Preis von a Gulden bedungen worden. Nach derselben Tabelle enthält eine Mischung, deren spezifische Schwere $0,_{9666}$ ist, nur 29 Theile Alkohol; man findet daher aus der Proportion $43 : a = 29 : x$ den wahren Preis eines Eimers des abgelieferten Branntweins $x = \frac{29 . a}{43}$.

Drittes Beispiel. Man hat 100 Mass Branntwein von der spezifischen Schwere $0,_{9422}$ und fragt, wie viel Mass schwächern Branntwein von der spezifischen Schwere $0,_{9857}$ man hieraus erhalten könne.

Der Tabelle Seite 54 zu Folge enthalten 100 Mass des ersteren Branntweins 44 Mass Alkohol, dagegen 100 Mass des zweiten Branntweines nur 10 Mass Alkohol. Man kann daher sagen: Aus 10 Mass Alkohol erhält man 100 Mass des verlangten Branntweins, wie viel Mass (x) geben die vorhandenen 44 Mass Alkohol oder $10 : 100 = 44 : x$, woraus $x = 440$ Mass. Nun lässt sich die beizuschüttende Wassermenge leicht finden. Von dem verlangten Branntweine müsste nämlich zu 10 Mass Alkohol immer 90 Mass Wasser beigeschüttet werden; es fordern daher 44 Mass Alkohol ein Quantum Wasser $= y$ oder $10 : 90 = 44 : y$ und $y = 396$ Mass Wasser, da jedoch in den gegebenen 100 Mass Branntwein schon $100 - 44 = 56$ Mass Wasser enthalten sind, so wird nur noch eine Beimischung von $396 - 56 = 340$ Mass Wasser erfordert.

Auf diese Art würde man ein Gemisch von 396 Mass Wasser und 44 Mass Alkohol, zusammen also 440 Mass Branntwein von der verlangten Stärke erhalten, wenn nicht bei der Mischung eine Verminderung des Volumens einträte. Zur genauern Berechnung wird daher erfordert, auch hierauf Rücksicht zu nehmen. Nach der Tabelle Seite 53 Kolumne VII tritt für $y = 0,_{10}$ und $x = 0,_{90}$ eine Volumensverminderung von $0,_{0062}$, demnach bei 440 Mass eine Verminderung von $440 . 0,_{0062} = 2,_{728}$ Mass ein. Es werden daher 100 Mass Branntwein von der spezifischen Schwere $0,_{9422}$ gerade $440 - 2,_{728} = 437,_{272}$ Mass schwächeren Branntwein von $0,_{9857}$ spezifischen Schwere geben, wenn das erste Quantum mit 340 Mass reinen Wassers gemischt wird.

Man sieht hieraus, wie andere hierher gehörige Aufgaben aufgelöst werden, worüber man noch mehr in der bereits angeführten *Aräometrie* des Herrn Professors *Meissner* findet.

§. 50.

Wir haben bisher das absolute Gewicht eines Körpers durch Abwägen desselben in der Luft auf einer Wage bestimmt. Für den gewöhnlichen Gebrauch ist diess vollkommen hinreichend; wenn aber bei genauern physikalischen Untersuchungen das absolute Gewicht der Körper an und für sich, d. h. im luftleeren Raume gefordert würde, so muss das Gewicht des verdrängten Luftraumes in Rechnung genommen werden. Da nämlich die Luft wie das Wasser ein schwerer Körper ist, so verliert jeder Körper bei dem Abwägen in derselben von seinem absoluten Gewichte eben so viel, als das Gewicht der Luft beträgt, welches der Körper durch sein Volumen verdrängt. Ein leichter Körper, z. B. weiches Holz, verliert daher bei dem Abwägen auf einer Wage weit mehr von seinem absoluten Gewichte als das in die entgegengesetzte Schale gelegte viel dichtere, eiserne oder messingene Gewicht. So oft daher eine sehr genaue Abwägung gemacht werden soll, muss die Redukzion auf den luftleeren Raum geschehen; nur dann lassen sich nämlich die Gewichte genau unter einander beurtheilen.

Es sey das absolute Gewicht eines Körpers z. B. eines Stück Holzes im luftleeren Raume G, sein Kubikinhalt K, und die spezifische Schwere der athmosphärischen Luft $= n'$. Das absolute Gewicht des auf der Wage im Zustande des Gleichgewichtes vorhandenen eisernen Schalengewichtes sey $= g$ und sein Kubikinhalt $= k$. Es ist offenbar, dass der erste Körper $56{,}4 . n' . K$ und der zweite $56{,}4 . n' . k$ bei der Abwägung in der Luft verliere; demnach $G - 56{,}4 . n' . K = g - 56{,}4 . n' . k$ seyn müsse. Hieraus folgt $G = g + 56{,}4\ n' (K - k)$.

Beispiel. Nehmen wir einen Kubikfuss weichen Holzes, dessen spezifische Schwere $= 0{,}6$, demnach das Gewicht in der Luft $= 0{,}6 . 56{,}4$ ℔ ist. Dieses wird auf der gewöhnlichen Wage durch ein gusseisernes Schalengewicht von $\frac{1}{12}$ Kubikfuss aufgewogen, dessen spezifische Schwere des Gusseisens $= 7{,}2$ sey und daher $0{,}6 . 56{,}4 . 1 = 7{,}2 . 56{,}4 . \frac{1}{12}$. Nehmen wir nun die spezifische Schwere der atmosphärischen Luft $= 0{,}00129$ an, so ist $G = 7{,}2 . 56{,}4 . \frac{1}{12} + 56{,}4 . 0{,}00129 \left(1 - \frac{1}{12}\right)$ oder $G = 33{,}84 + 0{,}067$. Der Kubikfuss Holz wiegt daher um $0{,}067$ ℔ $= 2{,}144$ Loth im luftleeren Raume mehr, als er auf der Wage mit $33{,}84$ ℔ angegeben wird. Da jedoch dieser Unterschied nur den 505ten Theil beträgt, so folgt von selbst, dass man bei allen Berechnungen der praktischen Mechanik hierauf keine Rücksicht zu nehmen brauche, und dass wir für das absolute Gewicht der Körper entweder das in der athmosphärischen Luft gefundene oder das auf den luftleeren Raum reduzirte nehmen können.

§. 51.

Bei einem jeden Schiffe muss das Gewicht des verdrängten Wassers eben so gross, als das absolute Gewicht des Schiffes und der Ladung seyn; ist aber das Schiff leer, so ist auf gleiche Art bloss das Gewicht des Schiffes dem Gewichte des hierdurch verdrängten Wassers gleich.

Die erste Aufgabe, welche bei diesem Gegenstande vorkommt, ist die Berechnung, wie tief ein unbeladenes Schiff im Wasser geht. Wir wollen zuerst ein reguläres, mit geraden Flächen begränztes Schiff annehmen, dessen Längendurchschnitt Fig. 12. und Grundriss Fig. 13. ist. Diese Schiffe werden gewöhnlich auf jenen Flüssen gebraucht, die zu seicht sind, um tiefgehende, mit krummen Flächen begränzte Schiffe aufzunehmen. So sind die auf der Moldau in Böhmen gebräuchlichen zum fortwährenden Salztransporte bestimmten Schiffe durchaus sehr flach und für eine Wassertiefe von 18 Zoll berechnet, weil nur diese geringe Tiefe während des grössten Theiles des Jahres auf der schiffbaren Moldau zwischen Budweis und Prag vorhanden ist; man muss demnach auch alle diese Schiffe möglichst flach bauen, um hierdurch dasjenige an der Breite zu ersetzen, was ihnen an der Tiefe fehlt. Fig. 12 und 13. Tab. 42.

Es sey die Breite des Schiffes $MN = B$, seine Länge ohne die Spitzen nämlich bloss die Länge des mittleren Theiles $CE = L$ und seine Höhe $BC = H$, die Länge der Schnäbel sey $AB = DF = a$; endlich sey die mit Berücksichtigung der gewöhnlichen Rippen verglichene Stärke des hölzernen Bodens des Schiffes $= d$, und der Seitenwände $= d'$; demnach ist der kubische Inhalt des mittlern Schiffbodens $= B.L.d$ und der kubische Inhalt des Bodens vom hintern und vordern Theile $= \frac{2.B.AC.d}{2} = B.d.\sqrt{(a^2 + H^2)}$. Der Kubikinhalt der zwei langen Seitenwände ist $= 2.H.L.d'$ und jener der 4 schiefen Wände an den Schnäbeln $= \frac{4.AM.H.d'}{2} = 2H.d'.\sqrt{\left(a^2 + \frac{B^2}{4}\right)}$. Werden diese vier Grössen addirt und mit dem Gewichte eines Kubikfusses Holz $n.56{,}4$ multiplizirt, so erhält man das ganze Gewicht des Schiffes $= n.56{,}4 \left\{B.d\left\{L + \sqrt{(a^2 + H^2)}\right\} + 2H.d'.\left\{L + \sqrt{(a^2 + \tfrac{1}{4}B^2)}\right\}\right\}$. Bezeichnet nun x die Tiefe, auf welche das leere Schiff einsinkt, so ist $56{,}4.B.L.x$ das Gewicht des verdrängten Wassers, wobei auf das unbedeutende ausser dem mittlern Theile verdrängte Wasser keine Rücksicht genommen ist. Da nun das Schiff schwimmt, so haben wir die Gleichung $56{,}4\,B.L.x = n.56{,}4 \left\{B.d\left\{L + \sqrt{(a^2 + H^2)}\right\} + 2H.d'\left\{L + \sqrt{(a^2 + \tfrac{1}{4}B^2)}\right\}\right\}$ woraus nun x bestimmt werden kann.

Beispiel. Die Länge der Holzschiffe, welche die Moldau bei höherem Wasserstande befahren, beträgt gewöhnlich für den mittlern Theil $L = 48$ Fuss, für jeden Seitentheil oder Schnabel $a = 12$ Fuss, demnach die Länge von Spitze zu Spitze des Schiffes gemessen $= 12 + 48 + 12 = 72$ Fuss. Die Breite dieser Schiffe ist $B = 12$ Fuss, und ihre Höhe $H = 4$ Fuss; die Dicke des Bodens $d = 4$ Zoll $= \tfrac{1}{3}$ Fuss, und die Dicke der Seitenwände $d' = 3$ Zoll $= \tfrac{1}{4}$ Fuss. Werden diese Werthe substituirt, und wird die spezifische Schwere für weiches Holz $n = 0{,}6$ gesetzt, so ist

$$56{,}4.12.48.x = 0{,}6.56{,}4\left\{12.\tfrac{1}{3}\left\{48 + \sqrt{(12^2 + 4^2)}\right\} + 2.4.\tfrac{1}{4}\left\{48 + \sqrt{(12^2 + 6^2)}\right\}\right\} = 12366 \text{ ℔}$$

oder $x = \frac{1}{960}(242{,}596 + 122{,}832) = 0{,}3807$ Fuss $= 4{,}57$ Zoll.

So tief geht das Schiff durch seine eigene Schwere im Wasser. Hierzu käme aber noch die Tiefe hinzuzuschlagen, auf welche das Schiff wegen des Gewichtes der, in demselben befindlichen, zu seiner Leitung erforderlichen Geräthschaften und Menschen

Fig. 12. und 13. Tab. 42. einsinkt. Man kann nun entweder eine kleine Grösse hiefür anschlagen oder das Gewicht dieser Gegenstände zu dem eigenen Gewichte des Schiffes addiren und hieraus x bestimmen, oder es kann auch das Schiff auf ein ruhiges Wasser gegeben, mit allen zu seiner Leitung nöthigen Geräthschaften und Menschen belastet, und nun die Tiefe x am Schiffe selbst bezeichnet werden. Wollte man diese Bezeichnung am Schiffe ersichtlich machen, um von da aus die Aichskale aufzutragen, so geschieht diess an der Linie BC und DE zu jeder Seite, also eigentlich an vier Orten.

§. 52.

Unter der Schiffsaiche verstehen wir eine Skale, welche zu beiden Seiten des Schiffes so angebracht ist, dass der Punkt, bis zu welchem das Schiff einsinkt, das Gewicht der jedesmal vorhandenen Ladung angibt. Diese Aiche ist auf vielen Flüssen, wo eine wohlgeordnete und frequente Schiffahrt Statt findet, z. B. auf dem Rhein, gesetzlich eingeführt und gewährt den wesentlichen Vortheil, dass man sogleich ohne weitere Abwägung das Gewicht der ganzen Ladung in einem Schiffe finden und darnach den Zoll, im Falle einerlei Güter, z. B. Getreide, geladen sind, ohne Aufenthalt bestimmen kann. Die Aichskalen werden daher gewöhnlich vor ihrem Gebrauche von den hierzu aufgestellten Beamten geprüft, mit einem ämtlichen Zeichen versehen, und dann erst zur Bestimmung des Gewichtes der Ladung benützt.

Wir wollen nun untersuchen, wie bei dem im vorigen §. angenommenen regulär gebauten Schiffe die Aichskale durch Berechnung eingetheilt werden kann. Es sey $y = mC$ die veränderliche Tiefe, bis zu welcher das Schiff eingesunken ist, für die wir daher die Grösse der Ladung, welche an der Skale bei m und n anzuschreiben kommt, zu berechnen haben.

Fig. 14. Der Kubikinhalt des eingetauchten Schiffes oder der Kubikinhalt des verdrängten Wassers besteht, wie Fig. 14 zeigt, aus dem Prisma, dessen Querschnitt mnEC ist, oder aus $mC . CE . MN = y . L . B$ (I), und aus dem Inhalte der zwei Seitenkörper TQMolN. Diese letztern bestehen aus den Pyramiden $QMorq = Mq . y . \frac{Qq}{3} = TtkIN$ und aus dem keilförmigen, dazwischen liegenden Stücke $QqrktT = qt . y . \frac{Qq}{2}$. Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke ist $pm : mC = AB : BC$, oder $pm : y = a : H$ und $pm = \frac{a . y}{H} = Qq$. Ferner $QT : MN = Au : AS$ oder $qt : B = a - \frac{a.y}{H} : a$ und $qt = B\left(1 - \frac{y}{H}\right)$, demnach $Mq = MN - qt - tN$ oder $Mq = B - B\left(1 - \frac{y}{H}\right) - Mq$, woraus $Mq = \frac{B . y}{2H}$. Diese Werthe substituirt geben den Inhalt der vier Pyramiden $= 4 . \frac{B . y}{2H} . y . \frac{a . y}{3H} = \frac{2B . y^3 . a}{3H^2}$ (II).

Der Kubikinhalt der zwei zwischen den Pyramiden liegenden keilförmigen Stücke ist $= 2B\left(1 - \frac{y}{H}\right)\frac{y . a . y}{2H}$ (III). Diese drei Grössen mit 56,4 multiplizirt sind dem Gewichte des Schiffes sammt Ladung (G) gleich, wir erhalten daher

$$56{,}4\left\{B.L.y+\frac{2B.y^3.a}{3H^2}+B\left(1-\frac{y}{H}\right)\frac{a.y^2}{H}\right\}=56{,}4\,B.y\left\{L+\frac{a.y}{H}\left(1-\frac{y}{3H}\right)\right\}=$$

$$=n.56{,}4\left\{B.d\left\{L+\sqrt{(a^2+H^2)}\right\}+2H.d'\left\{L+\sqrt{\left(a^2+\frac{B^2}{4}\right)}\right\}\right\}+G.$$

Werden hier die Werthe aus dem obigen Beispiele substituirt, so ist

$$56{,}4.12\,y\left\{48+\frac{12y}{4}\left(1-\frac{y}{3.4}\right)\right\}=0{,}6.56{,}4\,(242{,}596+122{,}832)+G$$

$$\text{oder } 56{,}4.12y\left\{48+3y\left(1-\frac{y}{12}\right)\right\}=12366+G.$$

Wir sehen hieraus, dass wir, um für jeden Werth von G die entsprechende Höhe y an der Aichskale zu finden, eine Gleichung des dritten Grades erhalten. Um diess zu vermeiden, nimmt man für y verschiedene Werthe an und berechnet hierzu die Grösse der Ladung G, welches uns folgende Tabelle gibt.

Tiefe des Einsinkens vom Boden an y.	Höhe der Skale in Zollen.	Gewicht des verdrängten Wassers $56{,}4.12\,y\left\{48+3y\left(1-\frac{y}{12}\right)\right\}=S+G$	Gewicht des leeren Schiffes. S.	Gewicht der Ladung. G.	Erste Differenz	Zweite Differenz	Dritte Differenz
4,47	0	12101,18 + 272,99 = 12374,17	12366 ℔	8,17	2840,07		
5,47	1	14808,38 + 405,86 = 15214,24	. .	2848,24	2865,06	24,99	0,59
6,47	2	17515,53 + 563,72 = 18079,30	. .	5713,30	2889,46	24,40	0,59
7,47	3	20222,78 + 745,98 = 20968,76	. .	8602,76	2913,27	23,81	0,59
8,47	4	22929,98 + 952,05 = 23882,03	. .	11516,03	2936,49	23,22	0,58
9,47	5	25637,18 + 1181,34 = 26818,52	. .	14452,52	2959,13	22,64	0,59
10,47	6	28344,38 + 1433,27 = 29777,65	. .	17411,65	2981,18	22,05	0,59
11,47	7	31051,58 + 1707,25 = 32758,83	. .	20392,83	3002,64	21,46	0,58
12,47	8	33758,78 + 2002,69 = 35761,47	. .	23395,47	3023,52	20,88	0,60
13,47	9	36465,98 + 2319,01 = 38784,99	. .	26418,99	3043,80	20,28	0,58
14,47	10	39173,18 + 2655,61 = 41828,79	. .	29462,79	3063,50	19,70	0,59
15,47	11	41880,38 + 3011,91 = 44892,29	. .	32526,29	3082,61	19,11	0,58
16,47	12	44587,58 + 3387,32 = 47974,90	. .	35608,90	3101,14	18,53	0,60
17,47	13	47294,78 + 3781,26 = 51076,04	. .	38710,04	3119,07	17,93	
18,47	14	50001,98 + 4193,13 = 54195,11	. .	41829,11			

In dieser Tabelle erscheint eine Ladung von 8 ℔ für y = 4,47 Zoll, während wir im vorigen §. die Tiefe der Einsenkung des leeren Schiffes mit x = 4,57 Zoll be-

rechneten. Dieser unbedeutende Unterschied rührt daher, weil wir in jener Rechnung den Werth für x bloss aus der Einsenkung des mittlern Schiffkörpers berechneten, während die gegenwärtige Rechnung ganz genau ist. Da es bei dieser Rechnung auf einzelne Pfunde ohnehin nicht ankommt, so genügt es, wenn man zu den Höhen an der Skale über dem Nullpunkte oder zu 1, 2, 3, 4, 5, 6 Zoll die Ladungen

G = 28, 57, 86, 115, 145, 174 Ztr. anschreibt.

Man wird demnach zwei Latten BC und DE von jeder Seite des Schiffes annageln und die Theilung darauf bemerken, bei der Abmessung aber den mittleren Werth von den an die Oberfläche des Wassers fallenden Zahlen an den vier Latten nehmen. Die hierdurch erhaltene Zahl gibt das Gewicht der Ladung, wovon bereits das Gewicht des leeren Schiffes abgezogen wurde; es müsste demnach noch das Gewicht der zur Bedienung des Schiffes erforderlichen Menschen und Geräthschaften abgeschlagen werden, um das eigentliche Gewicht der Ladung auszumitteln.

Es ist überflüssig, eine solche Skale in kleinere Theile als Zolle abzutheilen, weil man bei dieser Bemessung über die Unterschiede von einigen Zentnern gewöhnlich hinausgeht, und auch die Einsenkung des Schiffes wegen des unruhigen Standes des Wassers gewöhnlich nur bis auf einzelne Zolle zu beurtheilen im Stande ist. Uibrigens ersieht man aus den in der obigen Tabelle beigefügten Differenzen, dass die Berechnung einer solchen Skale, wenn die ersten Werthe gefunden wurden, leicht weiter geführt werden kann.

§. 53.

Wir haben bei der vorstehenden Berechnung ein von geraden Flächen begränztes regulär gebautes Schiff angenommen. Die meisten Schiffe sind jedoch von krummen Flächen begränzt, und zwar nach keiner bestimmten Krümmung. Soll in diesem Falle die Aichskale verfertigt werden, so muss man von dem Schiffe die nothwendigen Längen- und Querprofile aufnehmen, auf dem Papiere verzeichnen und hieraus zuerst das Gewicht des Schiffes, dann den kubischen Inhalt und das Gewicht des verdrängten Wassers für eine jede Tiefe y, demnach auch das entsprechende Gewicht der Ladung bestimmen. Zur Vermeidung von Weitläufigkeit wollen wir hierüber kein besonderes Beispiel anführen.

In der Ausübung wird die Aichskale gewöhnlich auch bloss durch ein praktisches Verfahren bestimmt. Man führt nämlich zuerst das leere Schiff an einen Ort, wo das Wasser möglichst ruhig ist, z. B. in einen geschlossenen Raum, und bemerkt an den vier bereits befestigten Latten die Tiefe des Einsinkens, zu welcher 0 beigesetzt wird. Nun ladet man das Schiff von 10 zu 10, oder von 25 zu 25 Zentner möglichst gleichförmig, so dass es an den vier Latten um eine gleiche Grösse einsinkt, und schreibt wieder jedesmal die entsprechenden Ladungen den Theilstrichen zu.

Da es zu beschwerlich ist, mehrere hundert oder tausend Zentner der Reihe nach abzuwägen und ein Schiff damit zu beladen, so hat man in England eigene Wagehäuser, welche über den Kanälen erbaut sind, damit ein Schiff unter die Wage geführt, und gewogen werden könne. Das Schiff wird nun leer und dann auch mit der vollen Ladung, die gewöhnlich in Steinkohlen besteht, gewogen, und zugleich sowohl

der Mittelpunkt, als auch der Punkt der vollen Belastung des Kanalschiffes, oder auch noch einige Zwischenpunkte bemerkt. Die Konstrukzion dieser Wagen ist dieselbe, welche wir in dem I. Bande bei den Strassen- oder Mauthwagen und den für grosse Güterwägen bestimmten Wagen kennen gelernt haben; das Schiff wird nämlich mit Ketten umwunden, durch eine Verbindung mehrerer Räder aus dem Wasser gehoben, und dann gewöhnlich mittelst einer Schnellwage abgewogen. Es leuchtet von selbst ein, dass man sich derselben Manipulazion bedienen könne, um die Aichskale bei einem beladenen Schiffe zu verifiziren.

§. 54.

Wir kommen nun zur Beantwortung der Frage, welche **Sicherheit ein Schiff gegen das Umstürzen habe?** — Es ist aus Erfahrung bekannt, dass ein schmales Schiff leicht umfalle, und dass diess auch bei einem breiten Schiffe Statt findet, wenn es sehr hoch geladen ist.

Wir haben demnach die Umstände zu untersuchen, welche auf die **Stabilität des Schiffes** oder auf jene Kraft Einfluss haben, mit welcher ein Schiff sich in der horizontalen Lage erhält, oder womit es aus der schiefen Lage zur horizontalen wieder zurückkehrt.

Es sey DGKL der Querschnitt eines rechtwinkligen Schiffes in der horizontalen Lage. Wird dasselbe durch irgend eine Kraft in eine schiefe Lage gebracht, so wird es auf der einen Seite tiefer in das Wasser einsinken, zugleich aber von der andern Seite aus dem Wasser emporsteigen, und die Lage wie Fig. 16. einnehmen, wo BE die horizontale Wasserfläche vorstellt. Da das Schiff in beiden Lagen ein gleiches Gewicht hat, so muss auch der ganze Inhalt des verdrängten Wassers immer derselbe bleiben, folglich muss das Schiff um eben so viel, als es einerseits ausser dem Wasser steht, auf der andern Seite wieder hineinsinken; es muss daher der Querschnitt DGLK = MGLH und das Dreieck DMC = CHK, so wie auch die Tiefe des Einsinkens HK gleich der Höhe des Emporsteigens DM seyn. Fig. 15. und 16. Tab. 42.

Da das Schiff die Stelle des verdrängten Wassers einnimmt, so können wir uns den Schwerpunkt dieses Wassers zugleich als den Stützpunkt des Schiffes (seines eigenen Gewichtes und der Ladung) denken, wie diess bei einem jeden festen Körper von selbst einleuchtet. In der horizontalen Lage des Schiffes liegt der Schwerpunkt in der Mitte o; in der schiefen Lage ist die verdrängte Wassermenge von der einen Seite grösser, als von der andern, es wird sich also der Stützpunkt des Schiffes nicht mehr in o, sondern in m befinden. Wir wollen nun die Lage dieses Punktes bestimmen. Ziehen wir durch o die Horizontale AN, auf einer beliebigen Entfernung die Parallele OP, und fällen wir von den Schwerpunkten t und q der Dreiecke DMC und CHK, so wie von dem Schwerpunkte m des Trapezes MGLH und von dem Schwerpunkte der Ladung und des Schiffes a die nothwendigen Perpendikel, so kann man zur Bestimmung des Schwerpunktes nach §. 69. Band I. die statischen Momente um QO berechnen. Es ist daher die Fläche MGLH (= F) multiplizirt mit der Entfernung Am' ihres Schwerpunktes m = der Fläche DGLK (= F) multiplizirt mit der Entfernung Ao ihres Schwerpunktes o, weniger der Dreiecksfläche DMC (= f) multiplizirt

Fig. 15 und 16. Tab. 42. mit At', mehr der Dreiecksfläche CKH ($=f$) multiplizirt mit der Entfernung ihres Schwerpunktes Aq', oder $F.Am' = F.Ao - f.At' + f.Aq'$ oder $F.Am' = F.Ao - f(Au - t'u) + f(Au + t'u)$ oder $F(Am' - Ao) = f.2t'u$ und $F.om' = f.2t'u$, woraus die Entfernung des Schwerpunktes in der horizontalen Richtung oder seine Verrückung $om' = \frac{2t'u.f}{F}$.

Auf gleiche Art erhalten wir, wenn wir die statischen Momente um OP berechnen: $F.mm'' = F.oo' - f.tt'' + f.qq''$ oder $F.mm'' = F.oo' - f(tr + rt'') + f(rt'' - tr)$ oder $F(oo' - mm'') = f.2tr$, woraus $mm' = \frac{2tr.f}{F}$ die Senkung des Schwerpunktes.

Setzen wir den Winkel, um welchen das Schiff verwendet wurde $DCM = HCK = \beta$ und die Tiefe des Einsinkens $DM = HK = x$, so kann für kleine Winkel der Schwerpunkt t und q der Dreiecke als in der Mitte von β liegend angenommen werden und wir erhalten $tr = rC.\text{tang}\frac{\beta}{2} = t'u.\text{tang}\frac{\beta}{2}$. Bezeichnet B die ganze Breite des Schiffes, so ist $rC = t'u = \frac{2}{3}.\frac{B}{2}.\text{Cos}\frac{\beta}{2}$, demnach die horizontale Verrückung des Schwerpunktes $om' = 2.\frac{2}{3}.\frac{B}{2}.\text{Cos}\frac{\beta}{2}.\frac{f}{F}$ und die Senkung dieses Punktes $mm' = 2.\frac{2}{3}.\frac{B}{2}.\text{Sin}\frac{\beta}{2}.\frac{f}{F}$.

Das Gewicht des Schiffes und der Ladung ist dem Gewichte des verdrängten Wassers gleich; nehmen wir nun der leichtern Rechnung wegen an, dass das Schiff durch die ausgeglichene Länge L' denselben rechtwinkligen Querschnitt $DG.GL = y.B$ hat, so wird $56{,}4\,B.y.L'$ das Gewicht des Schiffes und der Ladung seyn, wovon der Schwerpunkt in a angenommen wurde. Da dieser Punkt unter dem Schwerpunkte m des verdrängten Wassers liegt, so haben wir hier einen ähnlichen Fall wie bei einem Pendel oder wie bei einer Wage (§. 169, I. Band Fig. 3, Tab. 8), das Schiff wird daher nicht umfallen, sondern mit dem Momente $56{,}4\,B.y.L' \times bm = 56{,}4.B.y.L'(do + om')$ in seine horizontale Lage zurückzukehren trachten. Setzen wir die Entfernung der zwei Schwerpunkte in der horizontalen Lage des Schiffes $ao = e$, so ist $do = e.\text{Sin}\beta$, weil der Winkel $dao =$ dem Verwendungswinkel des Schiffes $= \beta$ ist, und wir erhalten das Moment der Stabilität $= 56{,}4\,B.y.L'.\left(\frac{2}{3}.B.\text{Cos}\frac{\beta}{2}.\frac{f}{F} + e.\text{Sin}\beta\right)$.

Diese Rechnung setzt den Fall voraus, dass schwere Körper z. B. Eisen, Steine ... unten im Schiffe geladen sind. Wenn jedoch ein leichterer Körper als Wasser z. B. Holz, geladen wird, so fällt der Schwerpunkt a' des Schiffes und der Ladung über den Schwerpunkt m des verdrängten Wassers, es bleibt daher bloss das Moment der Stabilität $= 56{,}4\,B.y.L'(om' - od') = 56{,}4\,B.y.L'\left(\frac{2}{3}B.\text{Cos}\frac{\beta}{2}.\frac{f}{F} - e.\text{Sin}\beta\right)$ übrig. Das Moment der Stabilität eines jeden Schiffes ist daher $56{,}4\,B.y.L'\left(\frac{2}{3}B.\text{Cos}\frac{\beta}{2}.\frac{f}{F} \pm e.\text{Sin}\beta\right)$, wo das Produkt $B.y.L'$ immer den kubi-

schen Inhalt des verdrängten Wassers vorstellt. Nun ist $\frac{B}{2} : x = 1 : \text{tang}\,\beta$ und Fig. 15 und 16. Tab. 42.

$\text{tang}\,\beta = \frac{2x}{B}$; ferner $\frac{f}{F} = \frac{x \cdot \frac{1}{4}B}{\frac{1}{2}B(y + x + y - x)} = \frac{B}{2} \cdot \frac{x}{2} \cdot \frac{1}{B \cdot y} = \frac{x}{4y}$; ist aber der Drehungswinkel β klein, so ist $\text{Cos}\,\frac{\beta}{2} = 1$ und $\text{Sin}\,\beta = \text{tang}\,\beta$, demnach das Moment der Stabilität $= 56{,}4\ B \cdot y \cdot L' \cdot \frac{2x}{B}\left(\frac{B^2}{12y} \pm e\right) = 56{,}4\ y \cdot L' \cdot 2x\left(\frac{B^2}{12y} \pm e\right)$. Dieser Ausdruck zeigt, in welchem Falle das Moment der Stabilität gross, d. h. wenn eine grosse Kraft zur Bewegung und endlich zum Umwerfen des Schiffes benöthigt wird; diess ist nämlich der Fall

1tens. je grösser das Gewicht des verdrängten Wassers $56{,}4 \cdot B \cdot y \cdot L'$, oder je schwerer das Schiff sammt Ladung ist. Schwerere und schwer beladene Schiffe haben demnach im Verhältnisse ihres Gewichtes bei übrigens gleichen Umständen mehr Stabilität als leichtere;

2tens. je grösser $\frac{2x}{B} = \text{tang}\,\beta$ oder je grösser die Neigung des Schiffes ist. Sollen demnach Schiffe um einen grösseren Winkel gedreht werden, so wird auch hierzu eine grössere Kraft erfordert.

3tens. Die Stabilität eines Schiffes nimmt vorzüglich mit der Breite B desselben zu, da sie im Verhältnisse zu B^2 steht. Flache Schiffe haben daher eine weit grössere Stabilität als runde und tief gehende Schiffe, und würde nicht die runde Bauart der Seeschiffe behufs ihrer leichtern Beweglichkeit und ihres grössern kubischen Inhaltes erfordert, so wäre es weit zweckmässiger, sie eben so flach wie unsere Flusschiffe herzustellen. Bei den flachen Seeschiffen können daher auch grössere Segel als bei runden und tiefer gehenden ohne Gefahr des Umschlagens gebraucht werden, in welcher Hinsicht die erstern dann auch viel schneller gehen.

4tens. Ein Schiff verliert seine ganze Stabilität, wenn der Schwerpunkt des Schiffes und der Ladung auf der Höhe $\frac{B^2}{12y}$ ober dem Schwerpunkte des verdrängten Wassers liegt, oder wenn $e = \frac{B^2}{12y}$ ist. Man nennt bei einem Schiffe den Punkt, welcher auf dieser Höhe $\frac{B^2}{12y}$ liegt, das **Metacentrum**.

5tens. Die Stabilität eines Schiffes wird vermehrt, wenn e positiv und möglichst gross ist, wenn also der Schwerpunkt des Schiffes und der Ladung so tief als möglich unter dem Schwerpunkte des verdrängten Wassers liegt. Da nun der Schwerpunkt des Schiffes unveränderlich ist, so muss man bemüht seyn, jenen der Ladung möglichst tief herabzusetzen; auf jedem Schiffe müssen daher alle schweren Gegenstände in die Tiefe gelegt werden, und Seeschiffe werden aus gleicher Ursache in dem untersten Schiffsraume mit **Ballast** (gewöhnlich Schotter) beladen, wenn keine andern schweren Körper vorhanden sind.

§. 55.

Beispiel. Es sind die Dimensionen eines Schiffes gegeben, man fragt:

1tens. Bei welcher Höhe der Ladung verliert es seine ganze Stabilität, wenn diese Ladung in Scheitholz besteht?

2tens. Wie hoch kann es mit Holz geladen werden, wenn es von drei Menschen, die bei dem Beladen an Rand (Bord) treten, nur auf eine gegebene Tiefe x gesenkt werden soll?

Bezeichnet b die verglichene Breite, l die verglichene Länge und z die Höhe der Ladung eines Holzschiffes, so ist $b.l.z$ der kubische Inhalt des geladenen Holzes. Aus Versuchen ist bekannt, dass eine Klafter weichen Holzes, dessen Scheiterlänge $2\frac{1}{2}$ Fuss beträgt, mithin $6.6.2\frac{1}{2} = 90$ Kubikfuss enthält, ein Gewicht von 16 Zentner $= 1600$ ℔ habe; es wird daher das Gewicht des geladenen Holzes $= \frac{1600}{90} \cdot b.l.z = \frac{160}{9} \cdot b.l.z$ ℔ seyn. Ist das Gewicht des Schiffes $= S$, so ist das gesammte Gewicht des Schiffes sammt Ladung $P = \frac{160}{9} \cdot b.l.z + S$. Da nun das Schiff auf der Tiefe y im Wasser geht, und eine verglichene Länge L' und verglichene Breite B hat, so ist

$56{,}4\ B.L'.y = \frac{160}{9} \cdot b.l.z + S$ (I). In dieser Gleichung kommen zwei unbekannte Grössen y und z vor, es wird daher zur Bestimmung derselben eine zweite Gleichung benöthigt, welche sich aus der Stabilität ergibt. Wird nämlich so viel Holz geladen, dass das Schiff die ganze Stabilität verliert, so muss in dem Ausdrucke

$56{,}4\ y.L'.2x\left(\frac{B^2}{12y} - e\right)$ der Faktor $\frac{B^2}{12y} - e = 0$ und $e = \frac{B^2}{12y}$ werden.

Nun ist aber die Höhe des Schwerpunktes der Ladung ober jenem des verdrängten Wassers offenbar, $e = \frac{z}{2} - \frac{y}{2}$; wir haben daher auch $\frac{B^2}{12y} = \frac{z-y}{2}$ (II).

Aus diesen zwei Gleichungen lässt sich nunmehr z und y bestimmen; die zweite gibt nämlich $z = y + \frac{1.B^2}{6.y}$ und wird dieser Werth in I substituirt, so ist

$56{,}4\ B.L'.y = \frac{160}{9}.b.l.\left(\frac{B^2}{6y} + y\right) + S$; hieraus ergibt sich

$$y = \sqrt{\left\{\frac{80\,b.l.B^2}{27\left(56{,}4\ B.L' - \frac{160}{9}\cdot b.l\right)} + \frac{S^2}{4\left(56{,}4\ B.L' - \frac{160}{9}\cdot b.l\right)^2}\right\}} + \frac{S}{2\left(56{,}4\ B.L' - \frac{160}{9}\cdot b.l\right)}$$

Es sey $L' = 60$ Fuss, $B = 12$ Fuss, $l = 48$ Fuss und $b = 11$ Fuss, ferner sey $H = 4$ Fuss, $d = 4$ Zoll und $d' = 3$ Zoll, demnach das eigene Gewicht des Schiffes

$S = 0{,}6 . 56{,}4\ \{B.L'.d + 2H.L'.d' + 2B.H.d'\} = 12995$ Pfund. Werden diese Werthe substituirt, so folgt $y = 2{,}9$ Fuss und $z = 11{,}2$ Fuss, d. h., wenn das Schiff 11 Fuss hoch mit Holz beladen wird, so geht es 3 Fuss im Wasser, verliert jedoch seine ganze Stabilität, indem es durch die geringste Kraft selbst in seiner horizontalen Lage umgeworfen werden kann.

Auf gleiche Art wird die zweite Frage beantwortet, wie hoch ein Holzschiff beladen werden kann, damit dasselbe wenn drei Menschen bei dem Beladen auf den Bord treten, nicht tiefer als um die bestimmte Grösse sich einsenke. Wir haben hier abermals zwei

unbekannte Grössen, wovon die eine die Höhe z, auf welche das Schiff geladen wird, die andere aber, die hierbei Statt findende Einsenkung ist, demnach ist wieder $56{,}4\,B.L'.y = \frac{160}{9}\cdot b.l.z + S$ (I). Die zweite Gleichung erhalten wir durch die Stabilität; diese soll nämlich so gross werden, dass das Gewicht M, welches an dem Hebelsarme $\frac{B}{2}$ wirkt, bloss die Einsenkung x bewirkt. Wir haben daher nach §. 54

$M\cdot\frac{B}{2} = 56{,}4\ y.L'.2x\left(\frac{B^2}{12y} - e\right)$; ferner ist $e = \frac{z-y}{2}$, mithin

$M.\frac{B}{2} = 56{,}4\ y.L'.2x\left(\frac{B^2}{12y} - \frac{(z-y)}{2}\right)$ (II), woraus $z = \frac{56{,}4\,L'.x.\left(\frac{B^2}{6}+y^2\right) - \frac{M.B}{2}}{56{,}4\,x.L'.y}$

und in die Gleichung I substituirt gibt

$$y = \sqrt{\left\{\frac{{}^{80}/_{27}\,b.l.B\,(56{,}4\,L'.B\,x - 3\,M)}{56{,}4\,L'.x\left(56{,}4\,L'.B - \frac{160}{9}\cdot b.l\right)} + \frac{S^2}{4\left(56{,}4\,L'.B - \frac{160}{9}\,b.l\right)^2}\right\}} + \frac{S}{2\left(56{,}4\,L'.B - \frac{160}{9}\cdot b\,l\right)}.$$

Beispiel. Nehmen wir B = 12 Fuss, b = 11 Fuss, L' = 60 Fuss, l = 48 Fuss, S = 12995 ℔ das Gewicht der Menschen M = 450 ℔ an, so ist für $x = {}^1/_4$ Fuss, $y = 2{,}72$ Fuss und $z = 10{,}37$ Fuss. Der kubische Inhalt des geladenen Holzes ist daher $= 10{,}37 . 11 . 48 = 5475{,}36$ Kubikfuss und da die Klafter hier zu Lande $6 . 6 . 2^1/_2 = 90$ Kubikfuss hat, so können auf das Schiff $\frac{5475{,}36}{90} = 60{,}8$ Klafter Scheitholz geladen werden.

§. 56.

Wir wollen nun noch die Stabilität eines Schiffes untersuchen, dessen Querschnitt keine rechten Winkel, wie es bei den vorhergehenden Rechnungen vorausgesetzt wurde, sondern eine wie immer geartete gemischtlinigte symmetrische Figur bildet. Es stelle Fig. 17 ein solches Schiff vor, welches bis zur horizontalen M N in dem Wasser eingesunken ist; die Fläche des verdrängten Wassers sey M S N = F und ihr Schwerpunkt in o. Der leichtern Rechnung wegen wollen wir abermals für das befrachtete Schiff eine ausgeglichene Länge L' annehmen und auch die Querschnitte in der ganzen Länge des Schiffes als gleich voraussetzen. Das Gewicht des verdrängten Wassers ist daher 56,4 F . L', welches dem Gewichte des Schiffes sammt Ladung gleich seyn muss. Kommt das Schiff durch irgend eine Kraft in die schiefe Lage Fig. 18, so muss der Inhalt des verdrängten Wassers noch immer derselbe wie in der horizontalen Lage seyn; in dieser Lage bezeichnet man die horizontale Wasseroberfläche und M N die früher an der Oberfläche des Wassers gewesene Durchschnittslinie des Schiffes. Ziehen wir aus M und N die Perpendikel M a und N b, so ist die Fläche des Dreieckes $M\,C\,m = m\,C\cdot\frac{M\,a}{2} = f$ und jene des Dreieckes $N\,n\,C = n\,C\cdot\frac{N\,b}{2} = f$.

Fig. 17. Tab. 42.

Fig. 18.

Bezeichnen wir die halbe Breite des Schiffes M O = O N mit $\frac{B}{2}$; den Winkel, welchen die Seitenwände des Schiffes mit der Horizontalen M N bilden O M S = O N S mit α; den Winkel, um welchen das Schiff verwendet wurde $M\,C\,m = N\,C\,n$ mit β, so dass der Winkel $C\,m\,M = \alpha - \beta$ und $C\,n\,S = \alpha + \beta$; und setzen wir noch die Entfer-

Fig. 18. Tab. 42. nung des Durchschnittes C von der Mitte O oder die Linie C O $= z$, folglich M C $= \frac{B}{2} - z$ und N C $= \frac{B}{2} + z$, so findet man nach der Lehre der ebenen Trigonometrie m C : M C $=$ Sin α : Sin $(\alpha - \beta)$ oder m C $= \left(\frac{B}{2} - z\right)\frac{\text{Sin}\,\alpha}{\text{Sin}\,(\alpha - \beta)}$, auf gleiche Art findet man M a $= \left(\frac{B}{2} - z\right)$Sin β, n C $= \left(\frac{B}{2} + z\right)\frac{\text{Sin}\,\alpha}{\text{Sin}(\alpha + \beta)}$ und N b $= \left(\frac{B}{2} + z\right)$Sin β. Diese Werthe geben die Fläche des Dreieckes M C m $= \left(\frac{B}{2} - z\right)^2 \cdot \frac{\text{Sin}\,\alpha\,.\,\text{Sin}\,\beta}{2\,\text{Sin}\,(\alpha - \beta)}$ und jene des Dreieckes N C n $= \left(\frac{B}{2} + z\right)^2 \cdot \frac{\text{Sin}\,\alpha\,.\,\text{Sin}\,\beta}{2\,\text{Sin}\,(\alpha + \beta)}$. Aus der Gleichheit dieser Flächen folgt die abgekürzte Gleichung $\left(\frac{B}{2} - z\right)^2 \cdot \text{Sin}\,(\alpha + \beta) = \left(\frac{B}{2} + z\right)^2 \cdot \text{Sin}\,(\alpha - \beta)$ und aus dieser $\left(\frac{B^2}{4} - B.z + z^2\right)(\text{Sin}\,\alpha.\text{Cos}\,\beta + \text{Sin}\,\beta.\text{Cos}\,\alpha) = \left(\frac{B^2}{4} + B.z + z^2\right)(\text{Sin}\,\alpha\,.\,\text{Cos}\,\beta - \text{Sin}\,\beta\,.\,\text{Cos}\,\alpha)$ und reduzirt, $B\,.\,z\,.\,\text{Sin}\,\alpha\,.\,\text{Cos}\,\beta = \left(\frac{B^2}{4} + z^2\right)\text{Sin}\,\beta\,.\,\text{Cos}\,\alpha$.

Da nun z eine sehr kleine Grösse ist, so folgt $z = \frac{B\,.\,\text{tang}\,\beta}{4\,\text{tang}\,\alpha}$.

Wenn die Seitenwände des Schiffes in der ersten horizontalen Lage desselben mit der Oberfläche des Wassers den Winkel $\alpha = 90^0 = \frac{\pi}{2}$ bilden oder senkrecht stehen, so ist tang α unendlich gross und $z = 0$, oder der Punkt C fällt mit dem Punkte O zusammen, so wie es in der horizontalen Lage der Fall war. Ist aber dieser Winkel α kleiner als $\frac{\pi}{2}$, also die Seitenwände nach dem Innern des Schiffes geneigt, so kommt statt + tang α der Werth — tang α in dem obigen Ausdrucke zu setzen, und die Entfernung z wird negativ, oder der Punkt C liegt von der Mitte nach dem aus dem Wasser gehobenen Theile. Da übrigens β immer eine sehr kleine Grösse ist und α nicht viel von einem rechten Winkel abweicht, so wird auch z immer eine sehr kleine Grösse seyn. Mit Berücksichtigung dessen wird auch $\frac{\text{Sin}\,\alpha}{\text{Sin}\,(\alpha \pm \beta)}$ immer sehr nahe $= 1$, also auch die Flächen $\left(\frac{B}{2} - z\right)^2 \cdot \frac{\text{Sin}\,\alpha\,.\,\text{Sin}\,\beta}{2\,\text{Sin}\,(\alpha - \beta)}$ und $\left(\frac{B}{2} + z\right)^2 \cdot \frac{\text{Sin}\,\alpha\,.\,\text{Sin}\,\beta}{2\,\text{Sin}\,(\alpha + \beta)}$ sehr nahe $= \frac{B^2\,.\,\text{Sin}\,\beta}{8} = f$ seyn. Der Schwerpunkt dieser beiden Dreiecke M C m und N C n muss offenbar in den Halbirungslinien C m′ und C n′ in den Punkten p und q auf den Entfernungen $C\,p = {}^2\!/_3\,C\,m'$ und $C\,q = {}^2\!/_3\,C\,n'$ liegen.

Um für den Raum m S n $(= F)$ der verdrängten Flüssigkeit in der schiefen Lage des Schiffes den Ort des Schwerpunktes W zu bestimmen, ziehe man durch einen willkührlichen Punkt X die horizontale Achse X l′ und die vertikale X k, sodann ziehe man aus sämmtlichen Schwerpunkten auf diese beiden Achsen winkelrechte Linien, als eben so viel Hebelsarme der Gewichte, so gibt die Gleichheit der Momente in Bezug auf die vertikale Achse die Gleichung $m\,S\,n\,.\,W\,W'' = M\,S\,N\,.\,o\,g'' + M\,C\,m\,.\,p\,p'' - N\,C\,n\,.\,q\,q''$

$F\,.\,W\,W'' = F\,.\,o\,g'' + f\,.\,p\,p'' - f\,.\,q\,q''$, woraus $W\,W'' - o\,g'' = W\,w = \frac{f}{F}(p\,p'' - q\,q'') = \frac{f}{F} \cdot t\,u$

folgt. Weil wir aber die Drehungen des Schiffes als gering, oder den Winkel $m C M$ als klein annehmen, so kann man ohne einen Fehler zu besorgen $tu = pq = pC + Cq = \frac{2}{3} C m' + \frac{2}{3} C n' = \frac{2}{3} m' n'$ setzen. Nun ist aber aus gleicher Ursache $m' n'$ sehr nahe $= MN = B$, also auch $tu = \frac{2}{3} B$; mithin ist die horizontale Verrückung des Schwerpunktes oder $Ww = \frac{2}{3} B \cdot \frac{f}{F}$. Fig. 18. Tab. 42.

In Bezug auf die horizontale Achse ergibt sich auf gleiche Art für die Momente die Gleichung $mSn \cdot WW' = MSN \cdot ow' + MCm \cdot pp' - NCn \cdot qq'$ oder $F \cdot WW' = F \cdot ow' + f \cdot pp' - f \cdot qq'$ woraus $ow' - WW' = ow = \frac{f}{F}(qq' - pp') = \frac{f}{F}(qu + tp)$ folgt. Die Linien qu und tp sind aber die Entfernungen der Schwerpunkte q und p von den Grundlinien nC und mC der beiden Dreiecke nach den Dreieckshöhen Nb und Ma gemessen; da nun diese Schwerpunkte von der Grundlinie auf $\frac{1}{3}$tel der Dreieckshöhe entfernt liegen, so ist

$$qu = \tfrac{1}{3} Nb = \tfrac{1}{3}\left(\frac{B}{2} + z\right) \operatorname{Sin}\beta \text{ und } tp = \tfrac{1}{3} Ma = \tfrac{1}{3}\left(\frac{B}{2} - z\right) \operatorname{Sin}\beta$$

was sich auch nach den Gründen der Elementar Geometrie in der Figur selbst leicht zeigen lässt. Es ist daher

$$qu + tp = \tfrac{1}{3}\left(\frac{B}{2} + z\right)\operatorname{Sin}\beta + \tfrac{1}{3}\left(\frac{B}{2} - z\right)\operatorname{Sin}\beta = \tfrac{1}{3} B \cdot \operatorname{Sin}\beta.$$

Diess gibt die Verrückung des Schwerpunktes nach der lothrechten Richtung $ow = \frac{1}{3} B \cdot \operatorname{Sin}\beta \cdot \frac{f}{F}$.

Zur Bestimmung der Lage der schiefen Linie oW, in welcher eigentlich der Schwerpunkt des Wassers verrückt wurde, erhalten wir

$$\operatorname{tang} oWw = \frac{ow}{Ww} = \frac{\frac{1}{3} B \cdot \operatorname{Sin}\beta \cdot \frac{f}{F}}{\frac{2}{3} B \cdot \frac{f}{F}} = \tfrac{1}{2} \operatorname{Sin}\beta;$$

hieraus ersehen wir die merkwürdige Eigenschaft, dass die Linie, in welcher der Schwerpunkt des Wassers zurückweicht, parallel mit der Verbindungslinie der beiden Schwerpunkte p und q liege.

Nun befinde sich der Schwerpunkt des Schiffes sammt Ladung unter o in Q oder über o in Q' auf der Entfernung oQ oder $oQ' = e$. Da wieder der Winkel $oQg =$ dem Verwendungswinkel β des Schiffes ist, so ist die Horizontale og oder $og' = e \cdot \operatorname{Sin}\beta$. Das Gewicht des Schiffes sammt Ladung $(= 56{,}4\, F \cdot L')$ wirkt daher bei der schiefen Lage des Schiffes in der Richtung gQ oder $Q'g'$ und hat von dem Schwerpunkte W der verdrängten Flüssigkeit als dem Umdrehungspunkte die Entfernung $Ww + og$ oder $Ww - og' = \frac{2}{3} B \cdot \frac{f}{F} \pm e \cdot \operatorname{Sin}\beta$. Demnach ist $56{,}4\, F \cdot L'\left(\frac{2}{3} B \cdot \frac{f}{F} \pm e \cdot \operatorname{Sin}\beta\right)$ das Moment, womit das Schiff in seine frühere horizontale Lage zurückgedrückt wird, und welches die Stabilität des Schiffes ausdrückt. Setzen wir noch für f seinen Werth, so ist diess Moment $= 56{,}4\, F \cdot L' \cdot \operatorname{Sin}\beta\left(\frac{B^3}{12 F} \pm e\right)$.

Die Bestimmung der Fläche F des eingetauchten Schiffkörpers hängt von der Gestalt des Schiffes ab. Ist $F = B \cdot y$ wie im vorigen §. angenommen wurde, so erhalten wir das Moment der Stabilität $= 56{,}4\ B \cdot y \cdot L' \cdot \text{Sin}\,\beta \left(\frac{B^2}{12\,y} \pm e\right)$ und da wir im §. 54. $\frac{2x}{B} = \text{tang}\,\beta = \text{Sin}\,\beta$ fanden, so ist das Moment $= 56{,}4\ y \cdot L' \cdot 2x \left(\frac{B^2}{12\,y} \pm e\right)$ wie es früher gefunden wurde.

Wäre die Querschnittsfläche des Schiffes parabolisch, und die Tiefe, auf welcher es im Wasser geht $= y$, so ist $F = \frac{2}{3} B \cdot y$ und daher das Moment der Stabilität $= \frac{2}{3} \cdot 56{,}4\ B \cdot y \cdot L' \cdot \text{Sin}\,\beta \left(\frac{B^2}{8\,y} \pm e\right)$. Auch bei dieser Form des Schiffes gelten die hinsichtlich der Stabilität im vorigen §. gemachten Folgerungen; nun sehen wir, dass bei der Voraussetzung eines parabolischen Querschnittes das Schiff gar keine Stabilität besitzet, wenn der Schwerpunkt des Schiffes sammt Ladung sich über dem Schwerpunkte des verdrängten Wassers auf der Höhe $e = \frac{B^2}{8\,y}$ befindet. Da nun der Schwerpunkt des verdrängten Wassers bei dem angenommenen parabolischen Querschnitte auf der Tiefe $\frac{2}{5} y$ unter der Oberfläche des Wassers liegt, so ist die Stabilität des Schiffes auch $= 0$, wenn der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Ladung und des Schiffes auf der Höhe $e - \frac{2}{5} y$ über der Oberfläche des Wassers sich befindet.

§. 57.

Auf dem Grundsatze der kommunizirenden Röhren beruhen auch die, vorzüglich in neuern Zeiten in Anwendung gebrachten artesischen Brunnen (*puits artésiens*). Um sich einen richtigen Begriff von denselben zu machen, bemerken wir, dass es überhaupt dreierlei Arten von Brunnen gebe. 1tens. Seihbrunnen, Zieh- oder Pumpbrunnen; dieses sind Gruben, welche mehr oder weniger tief, gewöhnlich 4 bis 6 Fuss im Durchmesser in die Erde gegraben und dann ausgemauert oder mit Holz ausgezimmert werden, damit sich das Wasser von allen Seiten hineinziehen und nun mittelst einer Pumpe, eines Brunnenzuges oder mit Handeimern herausgeschafft werden könne. Diese Brunnen liegen gewöhnlich in dem schotterigen Untergrunde in der Nähe der Flüsse, das Wasser steht in denselben eben so hoch als im Flusse und sie werden gewöhnlich in Gärten, Wohngebäuden etc. angelegt. 2tens. Hydrostatische Springbrunnen oder Kunstbrunnen sind dagegen jene, die in den Ziergärten oder auf den öffentlichen Plätzen der Städte angetroffen werden; man sammelt nämlich das Wasser in einem höher liegenden Bassin, führt es durch eine Röhrenleitung an einen tiefern Ort und lässt es dort durch ein kurzes Ansatzrohr vertikal in die Höhe springen. Wir werden die Grundsätze der Anlage dieser Brunnen später genau kennen lernen. 3tens. Artesische- oder Springquell-Brunnen (*fontaines jaillissantes*) sind dagegen solche Brunnen, die aus einem gewöhnlich sehr tief gebohrten Loche bestehen, welches bis zu einer oder mehreren unterirdischen Quellen reicht, woraus das Wasser selbst aufsteigt und bis zur Oberfläche der Erde, manchmal auch mehrere Fuss über dieselbe sich erhebt. Gewöhnlich sind die Quellen, welche solche Brunnen speisen, in Lagern von grobem Kiese vorhanden; manchmal liegt dieser Kies zwischen zwei Thon- oder Letten-(Tegel) Schichten, das

Wasser bleibt daher zwischen denselben wie in einer Röhre stehen, und bohrt man die obere Lehmschichte bis auf das Schotterlager durch, so erhält man einen artesischen Brunnen.

Es sey Fig. 19 der Durchschnitt eines Theiles der Erdoberfläche; bei b sey eine Quelle, welche durch Klüfte in der Erde den Weg b c d e nimmt, und bei e zwischen massiven Erd- oder Steinschichten vom tiefern Eindringen abgehalten wird. Man bohre nun von der Oberfläche der Erde f die Oeffnung fe und versichere dieselbe durch eine eingesetzte Röhre so, dass das Wasser von e bis f nicht verlohren geht. Es ist nun offenbar, dass dasselbe, wenn die Röhre ef bis h fortgesetzt würde, auch bis zu diesem Punkte h steigen müsste; wenn man aber das Wasser bei f frei herauslaufen lässt, so wird es auf irgend eine Höhe fg emporsteigen, und man hat einen artesischen Springbrunnen erhalten. Einen solchen Brunnen kann man daher wie einen Arm eines Hebers oder einer krummgebogenen (kommunizirenden) Röhre betrachten, dessen unterirdische Verzweigungen den zweiten Arm bilden. Fig. 19. Tab 42.

Ein merkwürdiger Brunnen dieser Art befindet sich seit 200 Jahren in *St. Venant*, in der Grafschaft *Artois* in Frankreich; er ist gegen 200 Fuss tief und das Wasser erhebt sich aus demselben 6 Fuss hoch über die Erdoberfläche. Da man diese Brunnen zuerst in der Grafschaft *Artois* gefunden haben will, so erhielten sie hievon den Namen artesische Brunnen. *Belidor* führt in dem im Jahre 1734 in Paris erschienenen Werke: *Science de l' Ingénieur, liv. 4. chap.* 12. an, es befinde sich im Kloster *St. André* eine halbe Meile von *Aire* entfernt, in der Grafschaft *Artois* ein Springquellbrunnen, der über 100 Tonnen Wasser in einer Stunde liefert, und dieses Wasser 10 bis 12 Fuss hoch über den Horizont treibt. Ungeachtet dieser alten Nachrichten ist doch die öffentliche Aufmerksamkeit in Frankreich erst in der neuesten Zeit auf diesen Gegenstand geleitet worden, und im Jahre 1818 hat die *société d' encouragement pour l' industrie nationale* einen Preis von 3000 Franken, für die beste Abhandlung über diesen Gegenstand ausgesetzt. Dieser Preis wurde im Oktober 1821 dem Hrn. *F. Garnier* zuerkannt, und im folgenden Jahre auf Kosten der k. französischen Regierung, dessen Abhandlung: „*De l' art du fontenier sondeur et des puits artésiens par F. Garnier, Paris* 1822" durch den Druck bekannt gemacht. (Von diesem Werke hat Herr von *Waldauf* eine deutsche Uibersetzung: „Ueber die Anwendung des Bergbohrens zur Aufsuchung von Brunnquellen in Wien 1824" herausgegeben.) Seit jener Zeit wurden häufig Bohrversuche in verschiedenen Gegenden Frankreichs grösstentheils auf Kosten der Regierung gemacht, und mehrere Städte, die noch vor wenigen Jahren den grössten Mangel an Wasser hatten, sind gegenwärtig durch die eröffneten artesischen Brunnen reichlich mit unterirdischem Quellwasser versehen.

In dem, seit 1sten September 1828 in *Paris* erschienenen *Journal du genie civil, des sciences et des Arts,* worin mehrere Aufsätze über artesische Brunnen enthalten sind, befindet sich im Oktober-Hefte 1828 ein Aufsatz von Hrn. *Vte. Héricart de Thury*, worin ein Verzeichniss vieler in Frankreich bestehender artesischer Brunnen geliefert wird. Der merkwürdigste hiervon befindet sich in der Stadt *Gonnehem* in der Nähe von *Béthune*, wo ein Grundeigenthümer in einer Wiese vier Brunnen, einen jeden von 45 *mèt.* Tiefe anlegen liess, die sämmtlich einen $3{,}_{67}$ *mèt.* hoch über die Erdober-

fläche aufsteigenden Wasserstrahl gaben. Er vereinigte diese Wässer und betreibt damit ein Wasserrad von 3 *mèt.* Höhe, womit in 24 Stunden 200 *Kilogramm* (357 N. Oe. ℔) Mehl gemahlen wird. Im Augusthefte 1829 dieses Journals wird weiter angeführt, dass in dem Hafen an der *Seine* zu *St. Ouen* nächst *Paris* das Speisewasser für das *Bassin* mittelst artesischer Brunnen einen *mèter* hoch über den Wasserspiegel gehoben und in 24 Stunden 120 *Kubikmèter* (17,6 N. Oe. Kubikklafter) Wasser zugeführt werden.

Herr Hofrath *Poppe* führt in seinem Werke über die artesischen Brunnen (1831) an: England soll im Jahre 1824 schon 182 artesische Brunnen gehabt haben, wovon einige 400 bis 500 Fuss tief sind, und andere das Wasser bis auf 42 Fuss Höhe über die Erdoberfläche treiben; ja an einem Orte hat man sogar den gewaltsam hervorspringenden Strahl eines artesischen Brunnens zur Treibung eines Wasserrades benützt. Bei mehreren dieser Brunnen blieb das Wasser unter der Erdoberfläche, und musste daher erst durch Anwendung einer Pumpe über dieselbe gebracht werden. Nach demselben Verfasser sollen die artesischen Brunnen auch in Nordamerika schon bekannt seyn; in *Baltimore* soll ein solcher 280 Fuss tiefer Brunnen das Wasser 22 Fuss hoch und in *Philadelphia* ein Brunnen das Wasser 25 Fuss hoch über die Erdoberfläche treiben. In *China* soll es viele tausend artesische Salzbrunnen geben. Auch in Teutschland wurden bei *Stuttgart, Heilbronn, Tübingen* und in anderen Städten glückliche Versuche zur Erhaltung solcher Brunnen gemacht, worüber mehrere Nachrichten in *Dingler's* polytechnischem Journale vorkommen.

Garnier führt in dem oben genannten Werke ebenfalls an, dass man seit lange her ähnliche Brunnen, die über der Oberfläche der Erde hervorquellen oder springen (*fontaines jaillissantes*) in den Umgebungen von *Boston* in Nordamerika besitze; das Wasser, welches sie liefern, kommt dort aus dem Plänerkalk (Kreidemergel, *calcaire crayeux*). Arbeiten, welche zu *Sheerness* in England bei dem Zusammenflusse des *Medway* aus der Themse vorgenommen wurden, haben gleichfalls gezeigt, dass auf der Tiefe von 350 Fuss Kreidemergel bestehe, welcher sehr reine und klare Wässer enthält. Sobald man nämlich daselbst die Lehmschichte (*couche argileuse*), welche sie niederdrückte, durchbohrt hatte, hob sich das Wasser von der Tiefe von 350 bis 344 Fuss, es schwankte hierauf einige Zeit wie in einer kommunizirenden Röhre und fiel endlich bis auf 120 Fuss unter die Erdoberfläche.

§. 58.

Die artesischen Brunnen sind in der Gegend bei *Wien* schon seit zwei Jahrhunderten bekannt. Der berühmte Astronom *Cassini* erzählt in seinen an die Akademie der Wissenschaften in Paris in der 2ten Hälfte des 17ten Jahrhundertes erstatteten Berichten, dass er solche Brunnen, die er früher nur in *Modena* und *Bologna* angetroffen habe, später auch häufig in Niederösterreich fand (*Histoire de l'Academie Royale des Sciences,* Tom. I. An. 1666, pag. 96.). Auch *Belidor* beschreibt in seiner bereits erwähnten im J. 1734 erschienenen *Science des Ingénieurs* die in Niederöstreich befindliche Methode Quellbrunnen oder lebendige Brunnen zu bohren. In der unlängst erschienenen Abhandlung: die artesischen Brunnen in und um Wien vom Freiherrn von *Jacquin*, nebst geognostischen Bemerkungen über dieselben von *Paul Partsch,* Wien 1831

wird angeführt, dass theils in den Vorstädten und theils in den nächsten Umgebungen Wiens bereits 48 solche Springquellbrunnen bestehen. Die Tiefe dieser Brunnen, die in einem Verzeichnisse einzeln angegeben werden, beträgt 60 bis 234 Fuss; bei einigen steigt das Wasser bis nahe an die Oberfläche, bei andern bis über die Oberfläche der Erde, bei einigen wird es sogar als Springbrunnen in *Bassin's* benützt. Diese 48 Brunnen liefern über 12000 Eimer oder 21504 N. Oe. Kubikfuss Wasser in 24 Stunden; bei einem Brunnen in Altmannsdorf, der 108 Fuss Tiefe hat, beträgt sogar die Wassermenge in 24 Stunden 1728 Eimer oder 3097 Kubikfuss. Die Temperatur dieses heraufgebrachten Wassers bei allen solchen Brunnen wechselt von 9 bis 11 Grad Reaumur. Nebst diesen Quell- oder lebendigen Brunnen gibt es noch eine grosse Menge Brunnen bei Wien, welche bloss auf das Seihwasser gegraben sind, und daher nicht hieher gehören.

Das Verfahren, dessen man sich in Niederöstreich zur Herstellung dieser Brunnen bedient, ist folgendes: man gräbt auf die gewöhnliche Art einen Brunnen von 4, 5 bis 6 Fuss Weite von der oberen Dammerde an durch die unter denselben befindlichen Sand- und Schotterschichten bis auf die feste Schichte von Tegel; diese wird nun mit einem Hohlbohrer und das darunter befindliche Sandstein- oder Thonmergellager mit einem Steinbohrer durchbohrt, worauf man gewöhnlich schon auf eine Sandschichte kommt, in welcher diess Quellwasser sich befindet, das durch seinen hydrostatischen Druck mit ausserordentlicher Schnelligkeit in die Höhe und manchmal bis nahe an die Erdoberfläche, manchmal auch bis über dieselbe getrieben wird. Von der untern Steinlage an werden nun hölzerne Brunnenbohrer, die mit Brunnbüchsen gut verbunden sind, bis über die Oberfläche der Erde aufgesetzt, auf ihrer ganzen Länge seitwärts mit Lehm gut verstampft und der übrige Brunnenraum wieder mit Erde und Schotter ausgefüllt. Ist der hydrostatische Druck nicht so gross, dass das Wasser bis zur Oberfläche der Erde steigt, so sammelt man es auf der Tiefe, wo es stehen bleibt, in einem Schöpfbrunnen, aus welchem das Wasser auf die bekannte Art geschöpft wird. Kommt man bei der vor erwähnten Durchbohrung der ersten Sandsteinlage nicht auf Wasser, so bohrt man in dem gewöhnlich darunter liegenden Tegel wieder fort, und durch die zweite Steinplatte, unter welcher sich dann gewöhnlich das Wasser befindet.

In Frankreich wandte man viereckige aus Bretern zusammengefügte in einander eingeschobene Schläuche an. In England wird das ganze Bohrloch von oben herab bis zur Quelle mit gusseisernen Röhren ausgefüttert; diese werden Stück für Stück fest auf einander gefügt, immer tiefer eingetrieben, und in diesen Röhren eigentlich die Bohrung vorgenommen.

Das Wasser dieser Springquellbrunnen wird in und bei Wien zu dem Bedarfe in mehreren Bleichen, Kattundruckereien, Gerbereien und andern Fabriken verwendet, wo es früher mit ungemeinen Kosten herbeigeschafft werden musste. Hierbei kommt die im Sommer und Winter immer gleiche Temperatur des Wassers vorzüglich zu Statten, welches auch dann einen ausserordentlichen Vortheil gewährt, wenn das Wasser solcher reicherer Springquellen, im Falle es hoch genug steigt, zur Bewegung eines Rades verwendet wird.

Nach dieser Darstellung leuchtet es von selbst ein, welchen ausserordentlichen Vortheil die Anlage solcher Brunnen in sehr vielen Fällen gewähre. Da jedoch das Bohren

artesischer Brunnen auf der geognostischen Kenntniss und Untersuchung des Bodens vorzüglich beruht, so muss diese nothwendig vorangehen, weil man sonst Zeit und Geld auf nutzlose Versuche verwenden würde. In Böhmen dürften sich artesische Brunnen in jenen Gegenden anlegen lassen, die mit Flötzgebirgen auf eine bedeutende Tiefe bedeckt sind, nämlich im Ellbogner Kreise in dem Thale zwischen dem Erzgebirge und dem Karlsbader Urgebirge; in der Ebene des Saatzer Kreises und im Leitmeritzer Kreise, in dem Thale zwischen dem Erzgebirge und Mittelgebirge. Hinsichtlich der Verbreitung der in Böhmen vorhandenen Flötzgebirge ist die eben erst erschienene Uebersicht der Gebirgsformazionen in Böhmen vom Herrn *F. X. M. Zippe*, Kustos am
Fig. 20 und 21. Tab. 42. böhmisch-vaterländischen Museum, Prag 1831 bei Kronberger, nachzulesen. In Fig. 20 und 21 kommt ein Profil der Gebirgslagen in jenen Gegenden vor, wo artesische Brunnen in Böhmen angelegt werden können; hierbei ist jedoch die Mächtigkeit der einzelnen Lagen bloss im Ideale entworfen worden, da uns die genauern Bohrversuche noch fehlen.

II. Kapitel.

Aërostatik.

§. 59.

Wir verstehen unter der Aërostatik die Lehre vom Gleichgewichte und Drucke der Luft sowohl für sich, als in Berührung mit andern Körpern. Die Luft ist diejenige Flüssigkeit, welche unsern ganzen Erdball umgibt, und ohne welche kein Thier zu leben im Stande ist. Wir denken uns diese Flüssigkeit, so wie das Wasser aus unendlich vielen und unendlich kleinen Theilen bestehend, die unter einander keinen Zusammenhang haben. Von dem Daseyn dieser Flüssigkeit überzeugt uns der Widerstand, der sich bei jeder Bewegung eines leichten Körpers äussert. Wird ein Blatt Papier mit der Hand in der Richtung seiner Fläche durch die Luft bewegt, so unterliegt diese Bewegung gar keinem Anstande; wenn aber die Fläche des Papieres mit der Richtung seiner Bewegung einen rechten Winkel macht, und das Papier an seinem Ende gehalten wird, so wird es schon bei einer sehr geringen Geschwindigkeit von dem Widerstande der Luft umgebogen. Eine jede Bewegung der Luft, jeder Wind gibt uns ebenfalls den Beweis von dem Daseyn derselben, obgleich wir ihre Theile nicht sehen.

Die Luft hat die Beweglichkeit der Theile und die Schwere mit dem Wasser gemein; sie hat aber noch eine andere Eigenschaft, welche dem Wasser abgeht, nämlich die weit grössere Elastizität, oder die Fähigkeit sich durch eine angebrachte Kraft zusammendrücken zu lassen, und das Bestreben ihren Raum fortwährend zu erweitern oder sich auszudehnen, so wie die Kraft nachlässt.

§. 60.

Der berühmte *Galilaei* war der erste, welcher den Lehrsatz, dass die Luft schwer sey, aufstellte. Er wurde hierauf durch den Umstand geführt, dass die Gärtner in Florenz das Wasser mittelst Pumpen nur auf eine beschränkte Höhe zu heben vermochten. Es blieb jedoch seinem Schüler *Torricelli* vorbehalten, im J. 1643 den bestimmten Grund hiervon nachzuweisen. Derselbe nahm eine Glasröhre, die an einem Ende d offen, an dem andern a aber geschlossen war, und füllte sie ganz mit Quecksilber. Er verschloss hierauf die Oeffnung d mit dem Finger, stürzte die Röhre in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss, und entfernte erst dann den Finger, bis das offene Ende der Röhre unter der Oberfläche des Quecksilbers im Gefässe stand. Es war auffallend, dass das Quecksilber aus der umgestürzten Röhre nicht ganz ausfloss, sondern bei jedem Versuche auf einer Höhe von cb = 27 bis 28 Zoll stehen blieb. *Torricelli* schloss hieraus, dass die umgebende Luft auf das Quecksilber ausserhalb der Röhre nur eben so stark drücken könne,

Fig. 1. Tab. 43.

Fig. 1. Tab. 43. als das Quecksilber innerhalb der Röhre auf dieselbe Fläche drückt, und dass der gesammte Druck der Luft auf die ganze Erde nur eben so viel betrage, als ob dieselbe mit Quecksilber 27 bis 28 Zoll hoch überschüttet wäre. Man nennt den Raum a b in der Röhre, welcher luftleer bleibt, die *Torricelli'sche* Leere.

Nach diesem merkwürdigen Versuche sind wir im Stande, den Druck der Luft auf eine jede Fläche zu berechnen. Beträgt nämlich die Höhe des Quecksilbers bei dem vorangeführten Versuche z. B. 28 N. Oe. Zoll, und ist die Fläche 1 Quadratfuss gross, so ist der Druck auf diese Fläche, wenn wir die spezifische Schwere des Quecksilbers mit 13,6 annehmen $= 1 . 1 \cdot \frac{28}{12} \cdot 13{,}6 . 56{,}4 = 1789{,}76$ ℔. Man nimmt die Oberfläche eines erwachsenen Menschen mit beiläufig 14 Quadratfuss an; der Druck der Luft auf einen Menschen beträgt daher $14 \cdot \frac{28}{12} \cdot 13{,}6 . 56{,}4 = 25056{,}64$ ℔ oder 250,57 N. Oe. Ztr. Diesen ungeheuern Druck empfinden wir desshalb nicht, weil die Luft auch vom Innern unsers Körpers herauswirkt, zudem vermögen wir nicht, unsern Zustand mit jenem im luftleeren Raume zu vergleichen. Wir wissen inzwischen, dass die Aenderungen des Zustandes der Luft auf die Gesundheit schwacher Personen einwirken, und dass selbst die stärksten Menschen auf den höchsten Bergen, wo der Druck der Luft viel geringer als in den Thälern ist, ein Uibelbefinden, Mattigkeit und Beklemmung empfinden, welches bloss dem Drucke der im Innern des Körpers vorhandenen Luft nach aussen zuzuschreiben ist.

Es ist in vielen Fällen für die Rechnung vortheilhafter, den Druck der Luft mit dem einer Wassersäule zu vergleichen; es fragt sich daher, die Quecksilbersäule von 28 Zoll, welche gewöhnlich dem Drucke der Luft gleichkommt, in eine eben so stark drückende Wassersäule zu verwandeln. Nennen wir die Querschnittsfläche des Quecksilbers im Rohre $= f$, und die Höhe dieser Wassersäule $= x$, so haben wir wegen der angenommenen Gleichheit des Druckes von einer Quecksilber- und Wassersäule die Gleichung $56{,}4\, f . x = 13{,}6 . 56{,}4\, f \cdot \frac{28}{12}$, woraus x nahe = 32 Fuss folgt; der Druck der atmosphärischen Luft kommt daher einer Wassersäule von 32 Fuss gleich. Hieraus sehen wir nun schon, dass das Wasser durch den Druck der Luft höchstens auf 32 Fuss Höhe gehoben werden könne, und diese Höhe wird in höhern Gegenden, wo der Druck der Luft geringer ist, auch weniger als in der Ebene betragen.

§. 61.

Das Experiment von *Torricelli* gab die Veranlassung zur Verfertigung der Barometer, oder Luftschweremesser. Man beobachtete nämlich, dass das Quecksilber in der Glasröhre a d nicht immer auf derselben Höhe b c stehen blieb, sondern an einem Tage stieg, an dem andern wieder herabfiel. Hieraus folgt offenbar, dass der Druck der Luft nicht immer derselbe sey, sondern dass er zu- und abnehme. Man misst die Grösse dieses Druckes mit dem Barometer, dessen Konstrukzion gewöhnlich wie Fig. 2
Fig. 2. ist; er besteht nämlich aus einer umgebogenen bei a geschlossenen Glasröhre, die unten mit einer offenen Kugel versehen ist, und mit Quecksilber gefüllt wird. Dieses Barometer hat den Namen Kugelbarometer. Die Skale, welche hierbei angebracht

ist, und zum Ablesen der täglichen Quecksilberhöhe dient, hat den Nullpunkt Fig. 2.
bei e an der Oberfläche des Quecksilbers in der Kugel, von wo aus die Theilung in Tab.
Zolle und Linien vertikal hinaufgetragen wird. Es ist offenbar, dass hier ein kleiner 43.
Fehler eintreten kann, indem die Höhe des Quecksilbers in der Kugel veränderlich ist. Um den Einfluss hiervon zu berechnen, sey die Querschnittsfläche der Kugel bei e = F, jene der Röhre = f, das Steigen des Quecksilbers in der Kugel = y, und das Fallen desselben in der Röhre = a, so haben wir die Gleichung $F.y = f.a$, weil dasselbe Quecksilber, welches in der Röhre herabfällt, in der Kugel wieder hinaufsteigen muss. Demnach ist $y = \frac{f.a}{F}$.

Beispiel. Es sey F = 1 Quadratzoll, und f = 1 Quadratlinie; die Höhe des Barometerstandes betrage 28 Zoll = ec, so ist für den Fall, als das Quecksilber um a = cb = 3 Linien fällt, die wirkliche Barometerhöhe $= 28'' - \left(3''' + \frac{3'''}{144}\right) = 28'' - \left(3''' + \frac{1'''}{48}\right)$. Wir sehen hieraus, dass wenn der Durchmesser der Kugel gegen jenen der Röhre sehr gross ist, dieser Fehler für den gewöhnlichen Gebrauch ausser Acht gelassen werden kann.

§. 62.

Für ganz genaue Bestimmungen der Quecksilberhöhe bedient man sich des Heberbarometers, welches aus einer gleich dicken, krumm gebogenen, an dem höhern Schenkel verschlossenen, an dem niedrigern offenen und mit Quecksilber gefüllten Glasröhre besteht. Der Nullpunkt der Skale befindet sich hier in o zwischen den beiden Quecksilber-Oberflächen, es müssen daher jedesmal beide Höhen vom Nullpunkte bis an die Oberflächen des Quecksilbers gemessen, und addirt werden. Bei der Bestimmung der Quecksilberhöhen zum Behufe der Höhenmessungen kommt es vorzüglich auf die Genauigkeit der Ablesung an; es wird daher oben und unten ein Nonius angebracht, und mit Hilfe desselben die Höhe abgelesen. Das Quecksilber in der Röhre muss übrigens von aller Luft befreit und zu diesem Zwecke gut ausgekocht werden, so wie auch vor seiner Füllung in die Glasröhre seine spezifische Schwere zu bestimmen ist. (Fig. 3.)

Obgleich das Barometer nur den Druck der Luft anzeigt, so wird dasselbe dennoch auch zur Beurtheilung der bevorstehenden Witterung gebraucht. Fällt nämlich das Barometer oder wird die Luft leichter, so ist sie mit Dünsten angefüllt und es steht gewöhnlich ein Regen bevor; umgekehrt muss bei sehr trockener Luft, die bloss bei schönem Wetter vorhanden ist, die Luft schwerer werden, und das Quecksilber im Barometer steigen. Diess trifft jedoch nicht immer zu, weil Winde, die Temperatur der Luft und andere Ursachen eine Veränderung des Barometerstandes bewirken, ohne dass ein Regen hierauf folgen müsse. Schnelle Aenderungen des Barometers werden mit Recht als Zeichen eines bevorstehenden oder bereits in einer fernen Gegend eingetretenen heftigen Sturmes angesehen.

Der mittlere Barometerstand beträgt an der Meeresfläche 28,895 N. Oe. Zoll, auf der Wiener Sternwarte (85 Klafter höher) 28,315 N. Oe. Zoll und auf der Spitze des *Montblanc* fand ihn *Saussure* nur 16,108 par. Zoll oder 16,553 N. Oe. Zoll. Wenn man sich an einem Orte befindet, der 72,5 Fuss höher als die Meeresfläche liegt, so steht das Barometer

daselbst gewöhnlich um eine Linie niedriger. Man ersieht hieraus schon, wie man aus den Barometerständen den Höhenunterschied zweier Orte finden könne.

§. 63.

Bei der Verfertigung der Barometer hat man zu bemerken, dass die Stärke (Wanddicke) der Quecksilberröhre nicht mehr als $\frac{1}{3}$, höchstens $\frac{1}{2}$ Linie betragen und der innere Durchmesser der Röhre nicht unter 1,5 Linien seyn dürfe, indem bei einer dicken Röhre das Auskochen des Quecksilbers erschwert, bei einer engern aber die Beweglichkeit dieser Flüssigkeit verhindert wird. Die Röhre erhält jedoch gewöhnlich auch nicht über 2,5 bis 3 Linien Weite, weil sonst die Masse des Quecksilbers zu sehr vermehrt würde. Die Glasröhre muss zuerst gut ausgetroknet und von Staub und Schmutz gereinigt werden, welches am besten noch vor dem Zuschmelzen des obern Endes der Röhre geschieht. Bei dem Zuschmelzen hat man zu sehen, dass sich die Röhre oben in keine Spitze, sondern in eine runde Wölbung endigt; bei einem Heberbarometer muss auch noch die Röhre in einer gleichförmigen Krümmung umgebogen werden.

Das Quecksilber muss von Schmutz und Feuchtigkeit gereinigt seyn, zu welchem Behufe man es mehreremale durch feine Papiertrichterchen durchlaufen lässt, bis es am Papiere keine Unreinigkeit mehr zurücklässt. Die Röhre wird nun theilweise hiermit gefüllt und über Kohlenfeuer bei einer Neigung von beiläufig 30 bis 45 Grad gut ausgekocht. Hierbei muss die Röhre in der ganzen Länge vom geschlossenen Ende an nach und nach über Kohlenfeuer gebracht, und das Auskochen bei starkem Sieden des Quecksilbers 6 bis 8 Mal vorgenommen werden, bis alle Luft aus demselben entwichen ist und dasselbe nach seinem Erkalten mit einer hellglänzenden Metallfläche am Glase erscheint. Ist das Barometer auf diese Art verfertigt, so wird die Skale aufgetragen; diess geschieht bei sehr genauen Instrumenten am Glase selbst, bei andern auf einem Papierstreifen, der auf dem hölzernen Brete, woran das Barometer gewöhnlich festgemacht ist, angeklebt wird. Eine umständlichere Anleitung zur Verfertigung der Kugel-, Heber-, Reise Barometer wird in der Physik gegeben.

§. 64.

Uiber die Fähigkeit der Luft, sich in einen kleinern Raum zusammendrücken zu lassen, hat *Mariotte* in Frankreich im J. 1676 genaue Versuche angestellt. Er nahm eine krummgebogene Röhre, deren kürzerer oben zugeschmolzener Schenkel durchaus einen gleichen Durchmesser hatte. In diese wurde durch den zweiten offenen Schenkel Quecksilber gefüllt, und durch wiederhohltes Umlegen der Röhre so viel Luft aus dem kürzern Schenkel herausgelassen, bis das Quecksilber in beiden Röhren auf einer gleichen Höhe g und n stand. (Gewöhnlich wird bei solchen Versuchen etwas mehr Luft herausgelassen, so dass das Quecksilber im offenen Schenkel niedriger steht, und dann erst wird von aussen das Quecksilber tropfenweise zugefüllt, bis die Höhe gleich ist. Man ist hierdurch versichert, dass die im kürzern Schenkel eingeschlossene Luft mit der äussern atmosphärischen einen ganz gleichen Druck erfährt). *Mariotte* goss nun abermals Quecksilber in den höhern Schenkel der Röhre, und zwar so viel, bis die Höhe op des Quecksilbers in der offenen Röhre über der geschlossenen genau so gross war, als welche das Barometer zu gleicher

Fig. 4. Tab. 43.

Zeit in demselben Zimmer zeigte. Daraus schloss er, dass die eingeschlossene Luft nun doppelt so stark als vorhin zusammengedrückt sein müsse, weil im ersten Falle, wo die Höhe des Quecksilbers in beiden Schenkeln der Röhre gleich war, die eingeschlossene Luft eben so stark als die äussere, demnach mit der Barometerhöhe h gedrückt war; im zweiten Falle aber, wie das Quecksilber in der offenen Röhre um h Zoll $=$ o p höher stand, die verschlossene Luft von $h + h = 2h$ zusammengedrückt seyn musste. Nun wurde der Raum der eingeschlossenen Luft gemessen und gefunden, dass er halb so gross als im ersten Falle war, oder dass $dm = \frac{mn}{2}$ war. *Mariotte* goss nun abermals Quecksilber in den längern Schenkel zu, bis die drückende Säule $uw = 2h$ Zoll betragen hatte, folglich der Druck auf die innere Luft $= 3h$ war. Der Raum der eingeschlossenen Luft betrug hierbei nur den 3ten Theil des ersten Raumes, oder es war $em = \frac{mn}{3}$. Auf gleiche Weise fand man, dass die Luft bei einem vierfachen Drucke nur den vierten Theil, bei einem fünffachen Drucke den fünften Theil des ursprünglichen Raumes einnimmt. Die Räume der Luft verhalten sich daher verkehrt wie die Druckhöhen, und da die Druckhöhen den Barometerständen gleich sind, so verhalten sich auch die Räume der Luft verkehrt wie die Barometerhöhen. Fig. 4. Tab. 43.

Dieser Satz, welcher unter dem Namen des *Mariotte*'schen Gesetzes bekannt ist, wurde früher nur auf einen Druck von 6 bis 8 Atmosphären oder 6.28 bis 8.28 Zoll erwiesen. *Bouguer* erzählt in seiner Reise nach den *Cordilleren*, dass er diesen Druck zwar nicht auf grössere Höhen, doch auf kleinere durch Verdünnung der Luft fortgesetzt und gefunden habe, dass das *Mariotte*'sche Gesetz bis zur 300 Mal verdünnten Luft vollkommen Statt finde. Im Jahre 1823 wurde die Akademie der Wissenschaften zu Paris von dem dortigen Ministerium aufgefordet, möglichst genaue Versuche über die Elastizität (Expansiv-Kraft) der Wasserdämpfe bei verschiedenen Temperaturen anzustellen. Die Kommission, welche hierzu ernannt wurde, bestand aus den Herren *de Prony*, *Arago*, *Ampère*, *Girard* und *Dulong*, und beschäftigte sich nicht bloss mit der obengenannten Aufgabe, sondern stellte auch Versuche über das *Mariotte*'sche Gesetz an. Die Quecksilbersäule, welche man hierbei zum unmittelbaren Drucke der Luft anwendete, und die in Glasröhren gemessen wurde, ging bis zur Höhe von 27 Atmosphären, oder $27 \,.\, 0{,}76^{m} = 20{,}52$ *mèt* $= 10{,}82$ N. Oe. Klafter. Das Resultat war die vollkommene Bestättigung des *Mariotte*'schen Gesetzes selbst bis zu dem versuchten sehr bedeutenden Drucke. Der Bericht der genannten Kommission befindet sich in dem *Journal du génie civil*, 19me *Livraison*, 1830, worauf wir im 3ten Bande bei der Abhandlung über Dampfmaschinen und das Gesetz der Expansivkraft der Wasserdämpfe noch zurück kommen werden.

Nach den Versuchen der neuern Chemiker findet das *Mariotte*'sche Gesetz nicht bloss bei der atmosphärischen Luft, sondern auch bei den übrigen Gasarten Statt. Ob aber nicht wenigstens einige Gasarten bei sehr grossen Druckhöhen aus dem luftförmigen Zustande in den tropfbar flüssigen übergehen, ist noch nicht hinreichend dargethan,

dürfte jedoch kaum zu bezweifeln seyn, in welchem Falle dann auch das *Mariotte*'sche Gesetz aufhört, so wie die Körper tropfbar flüssig werden.

§. 65.

Die Luft hat nebst den bisher angeführten Eigenschaften ihrer Schwere und Zusammendrückbarkeit, noch eine dritte Eigenschaft im vorzüglichen Grade; sie dehnt sich nämlich durch die Wärme aus, und zieht sich in der Kälte zusammen. Man überzeugt sich von dieser Eigenschaft, wenn man eine nicht ganz mit Luft gefüllte Blase über glühende Kohlen hält; dieselbe nimmt in diesem Falle an ihrem Volumen immer mehr und mehr zu, und zerspringt, wenn die Hitze noch mehr erhöht wird. Um diese Ausdehnung der Luft durch die Wärme, und Zusammenziehung durch die Kälte deutlicher beurtheilen und zugleich messen zu können, bedient man sich abermals einer krummgebogenen Röhre, in welche so viel Quecksilber gegossen wird, bis es
Fig. 5. Tab. 43. im eiskalten Wasser in beiden Schenkeln gleich hoch, nämlich in der Linie NO steht. Die Luft, welche in dem Raume AO enthalten ist, ist daher genau so stark als die äussere atmosphärische gedrückt, und es muss auch die in AO befindliche Luft die Temperatur des gefrierenden Wassers haben. Bringt man nun die Röhre in siedendes Wasser, so dehnt sich die Luft aus dem Raume AO in jenen AM aus, wobei jedoch so viel Quecksilber aus dem andern Schenkel heraus genommen werden muss, bis es in P und M gleich hoch steht, demnach die in AM befindliche Luft wieder eben so stark, als die äussere atmosphärische gedrückt ist. Da das Herausnehmen des Quecksilbers beschwerlich ist, so bemerkt man gewöhnlich, um wie viel das Quecksilber in dem offenen Rohre höher als in dem geschlossenen steht, und sucht dann den Raum, welchen die Luft bei gleich hohen Quecksilbersäulen einnehmen würde, aus der Proporzion nach dem *Mariotte*'schen Gesetze. Bezeichnen nämlich m und R die Punkte, wo das Quecksilber stehen bleibt, so verhält sich die Barometerhöhe h (zur Zeit der Beobachtung) zu $h + pR$, eben so wie der Raum Am zum Raume AM, oder $h : h + pR = Am : AM$, woraus $AM = \left(\frac{h + pR}{h}\right) Am$ folgt. Der ganze Versuch lässt sich auch noch mit einer genau eingetheilten sehr dünnen, horizontal liegenden Röhre machen.

Man hat auf diese Art gefunden, dass sich die atmosphärische Luft und alle andern Gasarten (wenn sie im trockenen Zustande versucht werden) von der Temperatur des gefrierenden bis zur Temperatur des siedenden Wassers um drei Achtel ihres Volumens ausdehnen. Wird nämlich der Raum $AO = 1{,}000$ gesetzt, und ist die Röhre von A bis M durchaus gleich dick, so findet man $OM = 0{,}375 = 3/8$.

§. 66.

Um die Wärme zu messen, setzt man die Intensität derselben der Ausdehnung der Körper proportional. Die hierzu erforderlichen Instrumente heissen Thermometer. Sollen sie die Wärme vollkommen genau messen, so müssen sie vom absoluten Nullpunkte oder der Abwesenheit aller Wärme ausgehen und die Grade ihrer Skalen die Zunahme der Wärme anzeigen. Da jedoch die Bestimmung des absoluten Nullpunktes zu grossen Schwierigkeiten unterliegt, so hat man für die Thermometer andere will-

kührliche fixe (feste) Punkte nach Uebereinkunft angenommen. Diess ist die Temperatur des siedenden und gefrierenden Wassers. Man hat nämlich beobachtet, dass die Temperatur des reinen Wassers, so lange Eis oder Schnee darin schmilzt, immer dieselbe bleibt, es mag sich viel oder wenig Schnee oder Eis darin befinden. Andere Beobachtungen haben gezeigt, dass das Wasser dieselbe Wärme (Siedhitze) behält, so lange als sich Dämpfe hieraus entwickeln, es mag übrigens stark oder schwach kochen, man mag das Feuer unter dem Gefäss wie immer vermehren. Auf diess Kochen selbst hat nur die Höhe des Ortes oder der Barometerstand einen Einfluss, auf hohen Bergen kocht nämlich das Wasser früher als in tiefen Thälern. Für genaue Bestimmungen muss übrigens das Wasser in metallenen Gefässen zum Kochen gebracht werden. Man sieht hieraus, dass der Gefrier- und Siedepunkt des Wassers allerdings verlässliche Anhaltspunkte zur Konstrukzion der Skale eines jeden Thermometers darbiethen. Fig. 6. Tab. 43.

Es gibt verschiedene Gattungen Thermometer. Das älteste derselben oder das Luftthermometer wird erhalten, wenn bei einem Kugelbarometer die Oeffnung A zugeschmolzen, und nun die Kugel zuerst in eiskaltes und dann in siedendes Wasser gebracht wird, in beiden Fällen aber die Höhen des Quecksilbers b und b′ an der Skale bemerkt werden. Der Abstand bb′ wird nunmehr in gleiche Theile oder Grade getheilt. Die Zahl der angeschriebenen Grade, bei welchen das Quecksilber stehen bleibt, zeigt die Temperatur der Luft an; ist aber das Instrument in eine andere Flüssigkeit eingetaucht, so wird auf gleiche Art die Temperatur dieser Flüssigkeit angezeigt. Um die einzelnen Grade grösser zu erhalten, muss die Kugel gross und die Röhre bb′ von sehr kleinem Durchmesser seyn.

Thermometer können aus allen Flüssigkeiten verfertiget werden, jedoch sind jene vorzuziehen, bei welchen der Zwischenraum vom Erstarren bis zum Verdampfen möglichst gross ist. Diese Eigenschaft besitzt vorzüglich das Quecksilber, weil es bei einer sehr niedrigen Temperatur gefriert, und dagegen eine sehr hohe Temperatur zu seiner Verdampfung erfordert wird, überdiess sind auch in dem Zwischenraume dieser zwei Punkte die Thermometergrade der Aenderung der Temperatur beinahe proporzional.

Die Skalen der Thermometer werden nach den Vorschlägen dreier Physiker eingetheilt. Fig. 7. 1tens: *Reaumur*, und nach ihm die ältern Franzosen theilen den Raum vom Gefrier- bis zum Siedepunkte in achtzig gleiche Theile ein, und heissen einen solchen Theil einen Grad. Sie schreiben zu dem Gefrierpunkte 0, zu dem Siedepunkte 80. Fig. 8. 2tens: *Fahrenheit*, und nach ihm alle Engländer theilen noch gegenwärtig die Skale vom Gefrier- bis zum Siedpunkte in 180 Theile, allein sie setzen zu dem Gefrierpunkte nicht 0, sondern 32 Grad, und zu dem Siedpunkte 212 Grade. Der Nullpunkt zeigt eine weit grössere, durch eine Mischung von Salmiak und Schnee künstlich erzeugte Kälte an. Fig. 9. 3tens: *Celsius* in Schweden, und nach ihm die neuern Franzosen theilen den Raum vom Gefrierpunkte bis zum Siedpunkte in 100 Theile oder Centesimalgrade ein.

Die Vergleichung der Thermometergrade unter einander kann nun ohne Anstand geschehen. Nennen wir die Anzahl Grade nach *Reaumur* $= R$, und die ihr entsprechenden Grade nach *Celsius* $= C$, und nach *Fahrenheit* $= F$, so haben wir zur Vergleichung der *Reaumur*'schen Grade mit jenen von *Celsius* die Proporzion $R : C = 80 : 100$, also $100\,R = 80\,C$ oder $5\,R = 4\,C$. Auf gleiche Art erhält man $R : F - 32 = 80 : 180$,

demnach 180 R = 80 (F — 32) oder 9 R = 4 (F — 32), endlich 180 C = 100 (F — 32) oder 9 C = 5 (F — 32).

Beispiel. 20 Grad nach *Reaumur* betragen daher $\frac{5.20}{4} = 25$ Grad *Celsius,* und $\frac{9}{4} \cdot 20 + 32 = 77$ Grad *Fahrenheit* u. s. w.

§. 67.

Zur Verfertigung der Quecksilber-Thermometer bedient man sich einer gläsernen, engen Röhre, deren innerer Durchmesser möglichst gleich ist. Die Länge der Röhre richtet sich nach der Grösse der Kugel; ist diese gross, so wird sich das darin befindliche Quecksilber in einen grössern Raum ausdehnen, es muss demnach auch eine längere Röhre mit der Kugel verbunden werden und umgekehrt. Es leuchtet von selbst ein, dass kleine Veränderungen der Wärme an der Ausdehnung des Quecksilbers desto deutlicher wahrgenommen werden, je grösser die Kugel, und je länger daher die Ausdehnung des Quecksilbers im Rohre ist. Nennen wir nämlich den Durchmesser der Kugel im Lichten = D, so ist der kubische Inhalt des hierin enthaltenen Quecksilbers $= \frac{11}{14} D^2 \cdot \frac{2}{3} D = \frac{11}{21} D^3$. Dieses Quecksilber wird durch die Wärme vom Gefrier- bis zum Siedpunkte um den m^{ten} Theil seines Inhaltes ausgedehnt, und steigt in dem Rohre, dessen Querschnittsfläche $\frac{11}{14} d^2$ beträgt, auf die Höhe x; wir haben daher $m \cdot \frac{11}{21} D^3 = \frac{11}{14} d^2 . x$, woraus $x = \frac{2 m . D^3}{3 d^2}$. Wir sehen hieraus, dass die Ausdehnung x des Quecksilbers in der Röhre viel beträgt, wenn der Durchmesser D der Kugel gross, und jener d der Röhre klein wird. Inzwischen haben grosse Quecksilberkugeln den Nachtheil, dass sie die Temperaturen nur langsamer anzeigen, indem eine kleinere Kugel weit schneller von der Wärme durchdrungen wird, als eine grössere.

Das Rohr des Thermometers muss durchaus einen gleichen Durchmesser haben, weil man den Raum zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte in gleiche Theile theilt, und dabei voraussetzt, dass die Ausdehnung des Quecksilbers durchaus der Wärme proporzional sey, demnach auch die Räume für gleiche Wärmegrade einander gleich seyn müssen. Man prüft die gleiche Stärke der Röhre bevor man noch die Kugel anschmilzt, indem man einige Tropfen Quecksilber hineinbringt und nachsieht ob dasselbe an allen Orten, wohin diese Tropfen gebracht werden, eine gleiche Länge einnimmt. Ist diess der Fall, so muss auch das Rohr einen durchaus gleichen Durchmesser haben.

Hat man nun eine gleichförmige Röhre gefunden, so wird das Ende derselben mittelst der Stichflamme eines Löthrohres glühend heiss gemacht, und ein Stück von einer andern hohlen Röhre angeschmolzen. Das letztere wird wieder glühend heiss gemacht und mittelst einer, an das andere Ende gebundenen mit Luft gefüllten Blase aufgeblasen und so die Kugel gebildet.

Das Quecksilber, dessen man sich zur Füllung der Thermometer bedient, muss möglichst rein seyn, zu welchem Behufe man es (§. 63) durch einen papiernen Trichter mit einer sehr kleinen Oeffnung laufen lässt. Da das Quecksilber durch die dünne Thermometerröhre

nicht eingeschüttet werden kann, so wird die Kugel auf einem Kohlenfeuer sehr stark erwärmt, wodurch sich die darin befindliche Luft ausdehnt, und ein Theil hiervon aus der Röhre entweicht. Man stürzt nun, so lange die Kugel noch heiss ist, das offene Ende der Röhre in eine Schale mit Quecksilber und lässt sie darin auskühlen. Die ausgedehnte Luft zieht sich nach und nach wieder zusammen, und es drückt die äussere atmosphärische Luft das Quecksilber in die Röhre hinein, so dass ein Theil des Quecksilbers schon bis in die Kugel gelangt. Nun wird die Röhre mit der Kugel aufgestellt, damit das Quecksilber sich am Boden der Kugel sammle, in dieser Stellung die Kugel abermals erhitzt, und sodann wieder am andern Ende in das mit Quecksilber gefüllte Gefäss gebracht. Es dringt nun abermals ein Theil Quecksilber hinein, und diese Operazion wird so oft wiederholt, bis die Röhre voll ist.

Da auch der Barometerstand auf die Höhe des Quecksilbers in einer offenen Röhre Einfluss hat, so pflegt man den obern Theil der Röhre l u f t l e e r zu machen. Zu diesem Behufe wird das obere Ende der Röhre über der Stichflamme bis zu einem Haarröhrchen ausgezogen, der obere Theil in der Gegend des Haarröhrchens abgebrochen, und sodann die Kugel des Thermometers noch über die Temperatur der Siedhitze und zwar so weit erwärmt, bis das Quecksilber anfängt in das Haarröhrchen einzudringen, in welchem Augenblicke es zugeschmolzen wird. Da die Quecksilberdämpfe der Gesundheit sehr nachtheilig sind, so muss man sich hüthen, dass nicht ein Theil des Quecksilbers im Zuschmelzen verdampfe. Beim Erkälten zieht sich das Quecksilber wieder zusammen, und man erfährt, ob es luftleer ist, indem man es umstürzt.

Die Skale bei dem nunmehr verfertigten Thermometer bestimmt man durch den Gefrier- und Siedepunkt. Man nimmt nämlich ein Gefäss mit kaltem Wasser, und legt ein Stück Eis oder Schnee hinein, steckt die Kugel des Thermometers in dasselbe, und bemerkt den Punkt wo das Quecksilber stehen bleibt durch Umwindung eines feinen Fadens. Hierauf wird das Instrument in siedendes Wasser gebracht, der Punkt auf gleiche Art an der Röhre bemerkt, und auch die Barometerhöhe notirt, welche hierbei Statt hat. Man hat zu sehen, dass diese Operazion bei einem gleichen Barometerstande vorgenommen werde, wozu man in Frankreich 0,76 met., in England 29 Zoll engl. und in Deutschland 28 pariser Zoll annimmt. Den Raum vomGefrier- bis zum Siedepunkte theilt man in die betreffende Anzahl Grade, und hat auf diese Art das Instrument verfertigt.

§. 68.

Alle festen Körper dehnen sich mehr oder weniger durch die Wärme aus, wie wir aus sehr vielen Erfahrungen wissen. Wird eine cylindrische Metallstange, welche genau in einen Ring passt, einige Zeit über Kohlenfeuer gehalten, so findet man, dass sie in diesen Ring nicht mehr gebracht werden kann, und ein grösseres Volumen angenommen, demnach sich ausgedehnt habe. Schon die ältesten Physiker haben Versuche über die Ausdehnung der Körper und vorzüglich der Metalle angestellt; die hierzu gebrauchten Apparate waren jedoch nicht mit der Genauigkeit verfertigt, um die Ausdehnung der Körper, welche in vielen Fällen nur sehr wenig beträgt, verlässig zu bestimmen. *Bouguer* gab zuerst die Methode an, mit Hülfe eines Fernrohres, das

nach einer eingetheilten entfernt aufgestellten Stange gerichtet wurde, die Ausdehnung der Metalle zu messen. *Musschenbroek* liess ein *Pyrometer* verfertigen, in welchem die Metallstange in ein mit Wasser gefülltes Gefäss (ein Wasserbad) gelegt, dieses Wasser erwärmt und die Ausdehnung der Stange dadurch gemessen wurde, dass sie an einem Ende befestigt war, am andern aber bei eintretender Ausdehnung derselben ein Räderwerk mit einem Zeiger in Bewegung setzte. Diess Instrument war zwar durch das Räderwerk sehr empfindlich gemacht, allein eben diess Räderwerk hatte den Nachtheil, dass es bei Vermehrung und Verminderung der Wärme nicht auf einen bestimmten Punkt zurückging, sondern bei verschiedenen Graden an der eingetheilten Skale stehen blieb. Um dieses zu vermeiden hat *Smeaton* Fühlhebel gebraucht, mit welchen man jedoch die Ausdehnung auch nicht mit hinlänglicher Deutlichkeit messen konnte. Ist nämlich AB eine metallene Stange, welche auf einer unverrückbaren Unterlage CD ruht und am andern Ende den Winkel- oder Fühlhebel BEF berührt, wobei E der Umdrehungspunkt ist, der Punkt F aber den Kreisbogen MN beschreibt, so wird man bei einem sehr bedeutenden Verhältnisse der Hebelsarme, z. B. von 1 : 100 = EB : EF die Ausdehnung der Stange AB an der eingetheilten Skale gerade 100 Mal grösser finden. Wenn man an der Skale nur $\frac{1}{4}$ Linie abliest, so gibt diess eine Ausdehnung von $\frac{1}{400}$ Linie, demnach eine sehr kleine Grösse. Soll jedoch dieser Apparat richtig seyn, so muss sowohl die Achse E als die Widerlage bei A vollkommen unverrückbar gemacht werden, welches aber beinahe unmöglich ist, da die Temperatur der erwärmten Stange AB ebenfalls auf diese Punkte einwirkt, und ihre Lage verändert; es handelt sich demnach darum, diesem nachtheiligen Einflusse zu begegnen.

Fig. 10. Tab. 43.

Biot liefert in seinem *Traité de physique,* I. Band Seite 150 die Beschreibung des Apparates, welcher von *Lavoisier* und *Laplace* zur Messung der Ausdehnung fester Körper gebraucht wurde. Bei diesem Apparate bediente man sich wie bei jenem von *Bouguer* eines Fernrohrs, welches auf eine 100 *Toisen* entfernte eingetheilte Skale gerichtet war. Der Apparat bestand aus vier von massiven Quadersteinen erbauten Pfeilern A, B, C, D, welche doppelt so hoch als breit, und eine Klafter tief in der Erde auf festem Grunde errichtet waren. Zwischen diesen Pfeilern befand sich der Ofen EF, auf welchem eine Wanne GH aufgesetzt war, die mit Wasser gefüllt wurde. Hierein wurde die zu prüfende Stange JK gelegt, welche nach einiger Zeit die Temperatur des Wassers annahm, und sich derselben entsprechend ausdehnte. Bei Wiederholung der Versuche fand man es jedoch zweckmässiger, die Wanne GH aus einem seitwärts angebrachten Kessel mit erwärmtem Wasser von verschiedenen Temperaturen zu füllen. Die zu prüfende Stange wurde an gläsernen Trägern ab, ab, die oben an eiserne Querstangen cd, cd befestigt, unten aber mit Rollen b, b, versehen waren, aufgehangen, damit die Stange mit Leichtigkeit sich auf den Rollen je nach ihrer Ausdehnung verschieben könne. Der gläserne massive Stab LJ wurde durch eiserne Querstangen NN, nn an die massiven Pfeiler A, B unverrückbar befestigt und gegen diesen Stab lehnte sich das eine Ende des zu prüfenden Stabes JK, welches daher auch als unverrückbar anzusehen ist; es konnte daher nur das zweite Ende K der Stange bei erfolgter Ausdehnung derselben verschoben werden. An diesem Ende K war abermals eine gläserne Stange OK befestiget, welche bei O mit der eisernen Stange QR, die in ihren Achsen sehr leicht beweg-

Fig. 11.

lich war, verbunden wurde. So wie nun der Punkt K durch die Ausdehnung von J K verrückt wurde, drehte sich die Stange Q R, mittelst derselben der Hebel R S, und es wurde durch den letztern das achromatische Fernrohr T T′ von 6 Fuss Länge bei T′ gehoben; man konnte daher den beschriebenen Raum an der Skale, welche auf 100 Toisen Entfernung aufgestellt war, genau messen. Zur Vermeidung der Verrückungen wurde die Stange J K an die gläsernen Stäbe L J′ und O K mittelst biegsamer Kupferstreifen befestigt. Fig. 11. Tab. 43.

Bei diesen Versuchen wurde nun zuerst die Wanne mit Wasser gefüllt, und darein so lange Eis gegeben, bis es nicht mehr schmolz, und bis die ganze Masse die Temperatur des Gefrierpunktes angenommen hatte. Hierbei wurde der Punkt der Skale, wohin das Fernrohr wies, bezeichnet und hierauf für jede Temperatur des Wasserbades ebenfalls der Punkt an der Skale notirt. Die Temperatur des Bades wurde mittelst genauer Thermometer gemessen, wobei ein Grad die Länge von beiläufig 2 Linien hatte, demnach auch die Temperatur leicht bis auf $^1/_{10}$ Grad bestimmt werden konnte. Die Versuche gingen von 0 bis 100 Grad Centesimal. Aus dem Verhältnisse der Hebel des Apparates und der Entfernung des Fernrohres von der aufgestellten Skale wurde sodann die wirklich erfolgte Ausdehnung der geprüften Stange J K gemessen. Die Genauigkeit dieser Bestimmung ging bis auf $^1/_{744}$ Linie. Man fand bei diesen Versuchen 1tens: dass alle untersuchten Körper nach erfolgter Ausdehnung vom Gefrier- bis zum Siedepunkte bei der Abkühlung auf den Gefrierpunkt genau wieder auf ihre ursprüngliche Länge zurückkehrten und 2tens: dass die Ausdehnung dieser Stangen den Graden des Quecksilber-Thermometers genau proporzional sey; es dehnten sich nämlich bei einer doppelten, dreifachen Anzahl Grade, die Stangen um das doppelte, dreifache aus. Kennt man daher die Ausdehnung für einen Grad Wärme, so findet man dieselbe für jede andere Anzahl Grade t, indem man die erste mit t multiplizirt. Bloss der gehärtete Stahl machte hier eine Ausnahme; er dehnte sich nämlich bei höhern Temperaturen weniger aus, so dass sich seine Ausdehnungsfähigkeit über 81° C. allmählig dem nicht gehärteten Stahle näherte.

Die gefundenen Ausdehnungsgesetze fanden jedoch bei festen Körpern nur so lange Statt, als dieselben ihren Aggregats-Zustand nicht ändern, d. h. nicht flüssig werden. Die Aenderungen, welche einige Physiker für die Ausdehnung der festen Körper bei höheren Temperaturen, wobei sie jedoch ihren Aggregats-Zustand noch behielten, gefunden haben, sind zu unbedeutend, und können für den Gebrauch bei unsern mechanischen Berechnungen in jedem Falle ausser Acht gelassen, demnach immer die Ausdehnung fester Körper den Temperatursgraden proporzional angenommen werden. *Hällström* fand die Ausdehnung des Eisens $= 0{,}00000994\, t + 0{,}000000024\, t^2 + 0{,}0000000002\, t^3$, wo t die jedesmalige Temperatur des Quecksilberthermometers in Centesimal-Graden bedeutet. Allein zwischen $t = 0$ und $t = 100°$ reicht auch hier das erste Glied der Gleichung hin oder man kann auch $t = 100°$ setzen und die aus der Formel erhaltene Ausdehnung ($= 0{,}001434$) den Temperatursgraden proporzional, demnach für 50° mit 0,000717 annehmen.

§. 69.

Nachstehende Tabelle gibt die Ausdehnung fester Körper, welche vom Gefrier- bis zum Siedepunkte, oder für 100 Centesimal-Grade Statt findet, für die Annahme, dass die Länge dieser Körper bei dem Gefrierpunkte $= 1{,}00000000$ gesetzt wird.

Diese Tabelle ist aus dem vortrefflichen physikalischen Wörterbuche von *Gehler*, neu bearbeitet von den Herren *Brandes, Gmelin, Horner, Muncke* und *Pfaff*, Leipzig 1825, I. Band, Seite 582 entlehnt. Die Namen der betreffenden Beobachter sind ebenfalls beigesetzt worden.

T a b e l l e,

über die Längenausdehnung fester Körper vom Gefrier- bis zum Siedepunkte, wenn die Länge derselben beim Gefrierpunkte = 1,00000000 gesetzt wird.

Körper.	Ausdehnung für 0° — 100° C.		Körper.	Ausdehnung für 0° — 100° C.	
Blei nach *Ellicot*	0,00283200	1/347	Glas weisses nach *Dulong*	0,00086100	1/1161
„ „ *Smeaton*	. . 286667	1/349	Glasröhre „ *Roy*	. . 77615	1/1268
„ „ *Herbert*	. . 287300	1/348	„ v. St. Gobin		
„ „ *Berthoud*	. . 308600	1/324	nach *Lavoisier*	. . 89039	1/1122
„ „ *Morveau*	. . 271900	1/368	„ gemeine nach „	. . 87572	1/1142
„ „ *Lavoisier*	. . 284836	1/351	„ andere „ „	. . 89760	1/1114
„ „ *Horner*	. . 290200	1/345	„ „ „ „	. . 91751	1/1090
Bronze „ *Smeaton*	0,00181667	1/550	„ dünne „ *Horner*	. . 92100	1/1086
Eis „ *Heinrich*	0,02451200	1/41	„ 0,2 L. Glas-		
Eisen „ *Ellicot*	0,00114600	1/873	dicke „ „	. . 91300	1/1095
„ „ *Herbert*	. . 117200	1/853	Glasstab „ *Roy*	. . 80787	1/1238
„ „ *Berthoud*	. . 119200	1/839	Glasstange massiv		
„ „ *Morveau*	. . 110000	1/909	nach *Horner*	. . 91900	1/1088
„ (Schmiede) *Lavoisier*	. . 122045	1/819	„ „ „ „	. . 92500	1/1081
„ „ nach *Smeaton*	. . 125833	1/795	Gold „ *Ellicot*	0,00140100	1/714
„ „ „ *Borda*	. . 115600	1/865	„ „ *Berthoud*	. . 131100	1/763
„ „ „ *Tralles*	. . 115600	1/865	„ „ *Morveau*	. . 147500	1/678
„ „ „ *Schwerd*	. . 114560	1/873	„ feines (*de dé-*		
„ „ „ *Augustin*	. . 111155	1/900	*part*) nach *Lavoisier*	. . 146606	1/682
„ „ „ „	. . 111545	1/896	„ nicht geglühet „	. . 155155	1/645
„ „ „ „	. . 112330	1/890	„ geglühet nach „	. . 151361	1/661
„ „ „ „	. . 114550	1/873	Klempnerloth „ *Smeaton*	0,00250533	1/399
„ „ „ *Hällström*	. . 144600	1/692	Kohle von Tannen-		
„ „ „ *Dulong*	. . 126660	1/790	holz nach *Heinrich*	0,00100000	1/1000
„ „ „ *Horner*	. . 116300	1/856	„ Eichenholz „ „	. . 120000	1/833
Eisen zu Draht gezo-			Kupfer „ *Ellicot*	0,00171000	1/585
gen nach *Lavoisier*	. . 123504	1/810	„ geschlagenes		
„ „ „ *Trougthon*	. . 114010	1/877	nach *Smeaton*	. . 170000	1/588
„ (Guss) „ *Roy*	. . 110940	1/901	„ „ „ *Trougthon*	. . 191880	1/521
Glas (Flint. engl.) *Lavoisier*	0,00081166	1/1232	„ „ „ *Morveau*	. . 179000	1/559
„ (Flint. franz.) „	. . 87199	1/1147	„ „ „ *Borda*	. . 178400	1/561
„ weisses nach *Smeaton*	. . 83333	1/1200	„ „ „ *Lavoisier*	. . 172244	1/581
„ „ „ *Herbert*	. . 94400	1/1059	Kupfer geschlag. *Lavoisier*	. . 171222	1/584
„ „ „ *Berthoud*	. . 99100	1/1009	„ „ „ *Dulong*	. . 184110	1/543

Körper.	Ausdehnung für 0° — 100° C.		Körper.	Ausdehnung für 0° — 100° C.	
Messing nach *Ellicot*	0,00182300	1/549	Stahl gehärtet bei 30° angelaufen nach *Lavoisier*	0,00138600	1/722
„ „ *Smeaton*	. . 193332	1/517	„ „ 65° angel. „	. . 123956	1/807
Messingdraht „ *Herbert*	. . 188500	1/531	„ weicher „ nach *Ellicot*	. . 107500	1/930
Messing gegossen nach *Smeaton*	. . 187500	1/533	„ „ nach *Trougthon*	. . 118990	1/840
„ „ „ *Berthoud*	. . 193400	1/517	„ „ „ *Smeaton*	. . 115000	1/870
„ „ „ *Lavoisier*	. . 186671	1/536	„ „ „ *Lavoisier*	. . 107875	1/927
„ „ „ „	. . 188971	1/529	„ „ „ „	. . 107956	1/926
„ engl. Stabmessing nach *Roy*	. . 189280	1/528	„ „ „ *Berthoud*	. . 110400	1/906
„ Hamburger „ „	. . 185540	1/539	Stahlstange „ *Roy*	. . 114470	1/874
Tyroler Tafelmessing nach *Horner*	. . 190300	1/525	„ „ „ *de Luc*	. . 116000	1/862
Palladium „ *Wollaston*	0,00100000	1/1000	„ steierische nach *Horner*	. . 115200	1/868
Platin „ *Borda*	0,00085655	1/1167	„ (Huntsman) „ „	. . 107400	1/931
„ „ *Trougthon*	. . 99180	1/1008	„ Fischer'scher aus Schafhausen „ „	. . 111200	1/899
„ „ *Morveau*	. . 85700	1/1167	Wismuth „ *Smeaton*	0,00139167	1/719
„ „ *Dulong*	. . 98390	1/1016	Zink gegossen „ „	0,00294167	1/340
„ „ *Wollaston*	. . 90000	1/1111	„ „ „ *Morveau*	. . 305100	1/328
„ Silber „ *Ellicot*	0,00197300	1/506	„ „ „ *Horner*	. . 296800	1/337
„ „ „ *Herbert*	. . 207000	1/483	„ durch Hämmern um 1/12 verlängert nach *Smeaton*	. . 310833	1/322
„ „ „ *Morveau*	. . 198800	1/503	Zinkloth 1 Th. Zink 2 Th. Kupfer nach „	0,00205833	1/486
„ „ „ *Trougthon*	. . 208260	1/480	Zinn gemeines „ „	0,00248330	1/403
„ „ „ *Berthoud*	. . 190500	1/525	„ feines „ „	. . 228330	1/438
Kapellensilber nach *Lavoisier*	. . 190974	1/524	„ „ „ *Herbert*	. . 232200	1/431
„ Pariser „ „	. . 190868	1/524	„ „ „ *Berthoud*	. . 255700	1/391
Spiegelmetall „ *Smeaton*	0,00193333	1/517	„ „ „ *Morveau*	. . 216400	1/462
Spiesglanz „ „	0,00108330	1/923	„ „ „ *Horner*	. . 209300	1/478
Stahl gehärtet „ „	0,00122500	1/816	„ von Fallmouth nach *Lavoisier*	. . 217298	1/460
„ „ „ *Berthoud*	. . 137500	1/727	„ „ Malakka nach „	. . 193765	1/516
„ „ bei 30° angel. nach *Lavoisier*	. . 136900	1/730			

§. 70.

Die Ausdehnung tropfbar flüssiger Körper beträgt in der Regel mehr, und ist nicht so gleichförmig oder den Temperatursgraden entsprechend, als es bei festen Körpern der Fall ist. Um die Grösse der Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten zu messen braucht man verschiedene Apparate, welche gewöhnlich den Thermometern ähnlich sind, und aus einer gläsernen hohlen Kugel bestehen, an die ein sehr genau kalibrirtes Glasrohr angeschmolzen ist. Wird dieses Gefäss mit einer Flüssigkeit gefüllt, und das Volumen derselben nach der Skale an der Röhre für jeden Tempera-

turgrad des Quecksilber-Thermometers bestimmt, so lässt sich die Grösse der Ausdehnung berechnen. Zu diesem Behufe muss jedoch die Ausdehnung des Glases für dieselbe Temperatur vorläufig bekannt seyn, um sie mit in Anschlag nehmen zu können. Eine umständliche Beschreibung dieser Versuche findet sich in dem genannten physikalischen Wörterbuche von *Gehler*. Die Resultate derselben zeigten 1tens dass die Ausdehnungen der Flüssigkeiten desto mehr betragen, je niedriger ihr Siedepunkt liegt, oder je weniger Wärme dieselben bedürfen um zu sieden, und dann in gasförmigen Zustand zu übergehen, 2tens dass die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten zwar immer bei erhöhter Wärme zunehme, jedoch den Temperatur-Graden des Quecksilber-Thermometers nicht genau proporzional sey. Die meisten Flüssigkeiten befolgen in dieser Hinsicht eigene Gesetze, welche aus den vorhandenen Erfahrungen erst abgeleitet werden müssen.

Herr *I. A. de Luc* hat die weitläufigsten Versuche dieser Art angestellt. Er bediente sich thermometerartiger Apparate, wobei der Standpunkt des Quecksilbers und jeder andern Flüssigkeit im siedenden Wasser mit 80, im schmelzenden Schnee aber mit 0 an dem betreffenden Apparate bezeichnet, der Abstand dieser zwei Punkte in 80 gleiche Theile getheilt, und dann die Grade notirt wurden, welche die untersuchten Flüssigkeiten bei jedem vom Quecksilber-Thermometer angezeigten Temperatur-Grade einnahmen. Auf diese Art erhielt er folgende Vergleichung der Stände oder der Ausdehnung der Flüssigkeiten bei gleichen Temperaturen.

Quecksilber.	Olivenöhl.	Kamillenöhl.	Quendelöhl.	Gesättigte Salzsole.	Alkohol.	1 Theil Alkohol 1 Theil Wasser.	1 Theil Alkohol 3 Theile Wasser.	Wasser.
80	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
75	74,6	74,7	74,3	74,1	73,8	73,2	71,6	71,0
70	69,6	69,5	68,8	68,4	67,8	66,7	62,9	62,0
65	64,4	64,3	63,5	62,6	61,9	60,6	55,2	53,5
60	59,3	59,1	58,3	57,1	56,2	54,8	47,7	45,8
55	54,2	53,9	53,3	51,7	50,7	49,1	40,6	38,5
50	49,2	48,8	48,3	46,6	45,3	43,6	34,4	32,0
45	44,0	43,6	43,4	41,2	40,2	38,4	28,4	26,1
40	39,2	38,6	38,4	36,3	35,1	33,3	23,0	20,5
35	34,2	33,6	33,5	31,3	30,3	28,4	18,0	15,9
30	29,3	28,7	28,6	26,5	25,6	23,9	13,5	11,2
25	24,3	23,8	23,8	21,9	21,0	19,4	9,4	7,3
20	19,3	18,9	19,0	17,3	16,5	15,3	6,1	4,1
15	14,4	14,1	14,2	12,8	12,2	11,1	3,4	1,6
10	9,5	9,3	9,4	8,4	7,9	7,1	1,4	0,2
5	4,7	4,6	4,7	4,2	3,9	3,4	0,1	0,4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
— 5	. .	. .	. .	—4,1	—3,9	. .	. .	. .
—10	. .	. .	. .	—8,0	—7,7	. .	. .	. .

Diese Tabelle gibt uns eigentlich eine Vergleichung des Standes mehrerer Thermometer, die aus verschiedenen Flüssigkeiten verfertigt wurden. Wird nämlich bei allen diesen Flüssigkeiten der Gefrier- und Siedepunkt mit 0 und 80 bezeichnet und der Abstand dieser zwei Punkte an jedem Thermometer für sich in 80 gleiche Abstände getheilt, so werden bei gleichen Temperaturen die Flüssigkeiten auf den in der Tabelle angeführten Höhen stehen.

§. 71.

Werden diese Erfahrungen über die Ausdehnungen des **Olivenöhls**, **Weingeistes**, **Wassers** der Rechnung unterworfen, und nur eine **Formel für den Unterschied der Ausdehnungen dieser Flüssigkeiten in Vergleichung mit dem Quecksilber** gesucht; so kann man zur bequemern Auffindung des Gesetzes, nach welchem diese Unterschiede fortschreiten, die Bemerkung benützen, dass dieselben in zwei Fällen zu Null werden, nämlich beim Gefrierpunkt und beim Siedepunkt, d. i. für $t = 0^\circ$ und $t = 80^\circ$, und dass sonach die zu findende Formel die Faktoren t und $(80^\circ - t)$ haben müsse. Setzen wir demnach den Ausdehnungsgrad des Olivenöhls $= t - A.t\,(80 - t)$, so ergeben sich zur Bestimmung des Werthes von A folgende Gleichungen:

Quecksilber	Olivenöhl	Unterschiede A.t (80 — t)	Werth von A
80	80	$0{,}0 = A . 80 . 0$	
70	69,6	$0{,}4 = A . 70 . 10$	$A = 0{,}00057$
60	59,3	$0{,}7 = A . 60 . 20$	$A = 0{,}00058$
50	49,2	$0{,}8 = A . 50 . 30$	$A = 0{,}00053$
40	39,2	$0{,}8 = A . 40 . 40$	$A = 0{,}00050$
30	29,3	$0{,}7 = A . 30 . 50$	$A = 0{,}00047$
20	19,3	$0{,}7 = A . 20 . 60$	$A = 0{,}00058$
10	9,5	$0{,}5 = A . 10 . 70$	$A = 0{,}00071$
0	0,0	$0{,}0 = A . 0 . 80$	$7A = 0{,}00394$;

Der mittlere Werth der Grösse A ist sonach $= 0{,}00056$ und jeder Ausdehnungsgrad des Olivenöhls wird seyn $t - 0{,}00056\, t\,(80 - t) = 0{,}9552\, t + 0{,}00056\, t^2$. Diese Formel stimmt nun mit den Erfahrungen auf folgende Art überein:

Erfahrung.	Resultate der Rechnung t — 0,000 6 t (80 — t)	Unterschiede
80	80 — 0,00 = 80,00	0,00
69,6	70 — 0,39 = 69,61	+ 0,01
59,3	60 — 0,67 = 59,33	+ 0,03
49,2	50 — 0,84 = 49,16	— 0,04
39,2	40 — 0,90 = 39,10	— 0,10
29,3	30 — 0,84 = 29,16	— 0,14
19,3	20 — 0,67 = 19,33	+ 0,03
9,5	10 — 0,39 = 9,61	+ 0,11
0,0	0 — 0,00 = 0,00	0,00

Eben so findet man die Ausdehnungsgrade für **Weingeist**. Wir erhalten nämlich auf gleiche Art wie im frühern Falle:

Quecksilber.	Alkohol	Unterschiede A . t . (80 — t)	Werth von A
80	80,0	0,0 = A . 80 . 0	
70	67,8	2,2 = A . 70 . 10	A = 0,00314
60	56,2	3,8 = A . 60 . 20	A = 0,00317
50	45,3	4,7 = A . 50 . 30	A = 0,00313
40	35,1	4,9 = A . 40 . 40	A = 0,00306
30	25,6	4,4 = A . 30 . 50	A = 0,00293
20	16,5	3,5 = A . 20 . 60	A = 0,00292
10	7,9	2,1 = A . 10 . 70	A = 0,00300
0	0,0	0,0 = A . 0 . 80	7A = 0,02135

Der mittlere Werth des Koeffizienten A ist = 0,00305, und die Formel für den Unterschied der Ausdehnung des Weingeistes und des Quecksilbers ist sonach: $t - 0{,}00305\, t\, (80 - t) = 0{,}75600\, t + 0{,}00305\, t^2$. Zur Beurtheilung der Uibereinstimmung der Resultate der Rechnung nach dieser Formel mit den Erfahrungen dient nachstehende Tabelle:

Erfahrung.	Resultate der Rechnung nach $t - 0{,}00305\, t\,(80 - t)$.	Unterschiede.
80,0	80,000 — 0,000 = 80,000	0,000
67,8	70,000 — 2,135 = 67,865	+ 0,065
56,2	60,000 — 3,660 = 56,340	+ 0,140
45,3	50,000 — 4,575 = 45,425	+ 0,125
35,1	40,000 — 4,880 = 35,120	+ 0,020
25,6	30,000 — 4,575 = 25,425	— 0,175
16,5	20,000 — 3,660 = 16,340	— 0,160
7,9	10,000 — 2,135 = 7,865	— 0,035
0,0	0,000 — 0,000 = 0,000	0,000

Man könnte auf dieselbe Weise wie beim Olivenöhl und Weingeiste auch bei dem Wasser den Koëffizienten A suchen. Allein die Erfahrungen lassen sich bei dieser Flüssigkeit nicht ganz so genau durch die Formel $t - A.t\,(80 - t)$ darstellen, wie es bei den frühern zwei Flüssigkeiten der Fall war. Wir müssen also mehrere Faktoren annehmen, oder dem Ausdrucke für die Unterschiede der Ausdehnungen bei Wasser und Quecksilber bei den verschiedenen Temperaturen dieser Flüssigkeit die Form
$t - t\,(80 - t)\,(A + B.t + C.t^2)$ geben, worin A, B, C erst durch Erfahrung zu bestimmende Koëffizienten sind. Stellen wir die Erfahrungen wieder in eine Tabelle zusammen, so haben wir:

Quecksilber.	Wasser.	Unterschiede $t\,(80 - t)\,(A + B.t + C.t^2)$.	Gleichungen, welche sich hieraus ergeben.
80	80,0	0,0 = 80.0	
70	62,0	8,0 = 70.10 (A + 70 B + 70.70 C)	0,01143 = A + 70 B + 70.70 C
60	45,8	14,2 = 60.20 (A + 60 B + 60.60 C)	0,01183 = A + 60 B + 60.60 C
50	32,0	18,0 = 50.30 (A + 50 B + 50.50 C)	0,01200 = A + 50 B + 50.50 C
40	20,5	19,5 = 40.40 (A + 40 B + 40.40 C)	0,01219 = A + 40 B + 40.40 C
30	11,2	18,8 = 30.50 (A + 30 B + 30.30 C)	0,01253 = A + 30 B + 30.30 C
20	4,1	15,9 = 20.60 (A + 20 B + 20.20 C)	0,01325 = A + 20 B + 20.20 C
10	0,2	9,8 = 10.70 (A + 10 B + 10.10 C)	0,01400 = A + 10 B + 10.10 C
0	0,0	0,0 = 0.80	

Aus diesen Gleichungen sind nun die mittlern Werthe der Grössen A, B, C zu bestimmen. Zieht man zu dem Ende die letzte Gleichung von den sechs vorangehenden ab, so erhält man:

$$\begin{array}{l|l}
-0{,}00257 = 60\,B + 60\,.\,80\,C & -0{,}000043 = B + 80\,C \\
-0{,}00217 = 50\,B + 50\,.\,70\,C & -0{,}000043 = B + 70\,C \\
-0{,}00200 = 40\,B + 40\,.\,60\,C & -0{,}000050 = B + 60\,C \\
-0{,}00181 = 30\,B + 30\,.\,50\,C & -0{,}000060 = B + 50\,C \\
-0{,}00147 = 20\,B + 20\,.\,40\,C & -0{,}000074 = B + 40\,C \\
-0{,}00075 = 10\,B + 10\,.\,30\,C & -0{,}000075 = B + 30\,C
\end{array}$$

Wird von diesen sechs Gleichungen abermals die letzte von den vorhergehenden fünf abgezogen; so hat man:

$$\begin{array}{l|l}
0{,}000032 = 50\,C & 0{,}00000064 = C \\
0{,}000032 = 40\,C & 0{,}00000080 = C \\
0{,}000025 = 30\,C & 0{,}00000083 = C \\
0{,}000015 = 20\,C & 0{,}00000075 = C \\
0{,}000001 = 10\,C & 0{,}00000010 = C \\
\hline
 & 0{,}00000312 = 5\,C
\end{array}$$

und $C = 0{,}0000006$

Addirt man die vorhergehenden Gleichungen, welche nur B und C enthalten; so hat man $-0{,}000345 = 6\,B + 330\,C$, **also ist die mittlere Gleichung** $-0{,}0000575 = B + 55\,C$, **woraus** $B = -0{,}0000575 - 0{,}0000330$, **oder** $B = -0{,}0000905$ **folgt.**

Endlich geben die ursprünglichen Gleichungen, wenn sie addirt werden: $0{,}08723 = 7\,A + 280\,B + 14000\,C$, **folglich ist ihre mittlere** $0{,}012461 = A + 40\,B + 2000\,C$, **woraus endlich** $A = 0{,}012461 + 0{,}003620 - 0{,}001200$, **oder** $A = 0{,}014881$; **so dass der Ausdehnungsgrad des reinen Wassers sehr genau durch die Formel**

$$t - t\,(80 - t)\,(0{,}014881 - 0{,}0000905\,t + 0{,}0000006\,t^2)$$

dargestellt werden kann. Um wieder den Grad der Genauigkeit beurtheilen zu können, mit welchem die Resultate der Rechnungen mit denen der Erfahrung übereinstimmen, wollen wir dieselben in folgender Tabelle darstellen.

Erfahrung.	Resultate der Rechnung nach der Formel $t - t\,(80 - t)\,(0{,}014881 - 0{,}0000905\,t + 0{,}0000006\,t^2)$.	Unterschiede.
80,0	$80 - 80 \,.\, 0 = 80 - 0 = 80{,}0000$	0,0000
62,0	$70 - 70 \,.\, 10 \,.\, 0{,}011486 = 70 - 8{,}0402 = 61{,}9598$	— 0,0402
45,8	$60 - 60 \,.\, 20 \,.\, 0{,}011611 = 60 - 13{,}9332 = 46{,}0668$	+ 0,2668
32,0	$50 - 50 \,.\, 30 \,.\, 0{,}011856 = 50 - 17{,}7840 = 32{,}2160$	+ 0,2160
20,5	$40 - 40 \,.\, 40 \,.\, 0{,}012221 = 40 - 19{,}5536 = 20{,}4464$	— 0,0536
11,2	$30 - 30 \,.\, 50 \,.\, 0{,}012706 = 30 - 19{,}0590 = 10{,}9410$	— 0,2590
4,1	$20 - 20 \,.\, 60 \,.\, 0{,}013311 = 20 - 15{,}9732 = 4{,}0268$	— 0,0732
0,2	$10 - 10 \,.\, 70 \,.\, 0{,}014036 = 10 - 9{,}8252 = 0{,}1748$	— 0,0252
0,0	$0 - 0 \,.\, 80 = 0 - 0 = 0{,}0000$	0,0000

Sucht man aus der aufgestellten Formel mit Hülfe der höhern Analysis die grösste Dichtigkeit des Wassers, wobei also die kleinste Ausdehnung desselben vorhanden ist, so findet man dieselbe bei $4\frac{1}{3}$ Grad Reaumur *).

§. 72.

Ueber die **Ausdehnung des Wassers und die spezifische Schwere desselben bei verschiedenen Temperaturen** haben nebst *de Luc* noch viele andere Physiker Versuche angestellt. Hierher gehören vorzüglich die von *Hällström* in Schweden angestellten Versuche, welche mit grosser Verlässlichkeit, jedoch nur von 0° bis zur Temperatur von 30° Centesimal gehen. Setzt man die spezifische Schwere des Wassers bei der Temperatur von $0° = 1$, so ergibt sich dessen spezifische Schwere (y) für jeden andern Grad t der Centesimalskale des Quecksilber-Thermometers aus der Gleichung $y = 1 + 0{,}000052939\,t - 0{,}0000065322\,t^2 + 0{,}000000014451\,t^3$, woraus nach der höhern Analysis **) die Temperatur der grössten Dichte $t = 4{,}°05$ Cent. $= 3{,}24$ Reaumur, also beiläufig derselbe Werth wie bei *de Luc* folgt.

*) Die gefundene Formel lässt sich auch unter folgende Gestalt bringen:
$-0{,}19048\,t + 0{,}022121\,t^2 - 0{,}0001385\,t^3 + 0{,}0000006\,t^4$. Die grösste Dichtigkeit des Wassers findet für denjenigen Grad t des Quecksilberthermometers Statt, für welchen die erste abgeleitete Funkzion $= 0$ wird; wir haben also zur Bestimmung dieses Grades die Gleichung:
$-0{,}19048 + 0{,}044242\,t - 0{,}0004155\,t^2 + 0{,}0000024\,t^3 = 0$. Vernachlässigen wir hier die letzten zwei Glieder, so finden wir $t = \frac{0{,}19048}{0{,}044242} = 4\frac{1}{3}$ Grad nach Reaumur oder genauer $t = 4{,}31$ Grad, wovon jedoch die neuern Beobachtungen um etwas abweichen.

**) Wir haben nämlich $\frac{dy}{dt} = 0{,}000052939 - 2\,.\,0{,}0000065322\,t + 3\,.\,0{,}000000014451\,t^2 = 0$, woraus $t = 4{,}05$ folgt.

Herr Professor *Stampfer* am k. k. polytechnischen Institute in Wien hat eine Reihe von Versuchen zur Bestimmung des absoluten Gewichtes des Wassers, der Temperatur seiner grössten Dichtigkeit und der Ausdehnung desselben in dem XVI Bande der Jahrbücher dieses Institutes (Wien 1830) bekannt gemacht. Derselbe bediente sich zu diesen Versuchen eines hohlen Zylinders von drei Zoll Höhe und drei Zoll Durchmesser, der aus Messingblech von einer Linie Dicke mit möglichster Genauigkeit verfertigt war, und nach den mit aller Schärfe vorgenommenen Abmessungen bei der Temperatur des Gefrierpunktes 21,18497 Kubikzoll, bei t Graden des *Reaumur*'schen Quecksilber-Thermometers aber ein Volumen von 21,18497 + 0,001525 t Kubikzoll hatte. Dieser Zylinder wurde nun mit aller Sorgfalt in destillirtem Wasser von verschiedenen Temperaturen (von 0° bis 26° Reaumur) abgewogen, die gefundenen Resultate so verbessert, als wäre die Wägung im leeren Raume vorgenommen worden und nun für jede Temperatur das Gewicht eines N. Oe. Kubikzolles Wasser berechnet. Bei der Redukzion auf den leeren Raum wurde die spezifische Schwere der trockenen atmosphärischen Luft bei 0° Wärme und 336,9 Pariser Linien Barometerstand gegen Wasser bei seiner grössten Dichtigkeit = 0,0012990, mithin das Gewicht eines N. Oe. Kubikzolls trockener atmosphärischer Luft bei 0° Temperatur und 336,9 Pariser Linien Barometerstand = 0,023743 französische Gramme $= 0{,}023743 \cdot \frac{32}{560{,}012} = \frac{1}{737}$ Loth und eines Kubikfusses Luft = 2,344 N. Oe. Loth angenommen.

Setzt man die grösste Dichtigkeit des Wassers = 1, die Dichtigkeit bei t Graden des Quecksilber-Thermometers = D, so ist diesen Versuchen zu Folge für die 80 theilige Skale $D = 0{,}999887 + 0{,}000076165\,t - 0{,}000013162\,t^2 + 0{,}00000011327\,t^3 - 0{,}0000000002972\,t^4$; und für die 100 theilige Skale $D = 0{,}999887 + 0{,}000060932\,t - 0{,}0000084236\,t^2 + 0{,}00000005800\,t^3 - 0{,}0000000001217\,t^4$. Die grösste Dichtigkeit des Wassers findet hier genau bei 3° Reaumur = 3,75° Centesimal Statt. Aus diesen zwei Gleichungen folgt nachstehende Tabelle für die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers für die 80 theilige und für die 100 theilige Skale, so wie auch die Tabelle für das absolute Gewicht des Wassers in Wiener Mass und Gewicht.

Dichtigkeit und Volumen des Wassers für die 80 theilige Skale.

t° R.	Dichtigkeit.	Volumen.	t° R.	Dichtigkeit.	Volumen.	t° R.	Dichtigkeit.	Volumen.
— 3	0,999537	1,000463	9	0,999587	1,000413	21	0,996673	1,003338
2	0,999681	1,000319	10	0,999443	1,000557	22	0,996329	1,003685
1	0,999798	1,000202	11	0,999279	1,000722	23	0,995971	1,004045
0	0,999887	1,000113	12	0,999095	1,000906	24	0,995601	1,004418
+ 1	0,999950	1,000050	13	0,998893	1,001108	25	0,995219	1,004804
2	0,999988	1,000012	14	0,998673	1,001329	26	0,994825	1,005202
3	1,000000	1,000000	15	0,998435	1,001567	27	0,994420	1,005611
4	0,999988	1,000012	16	0,998181	1,001822	28	0,994004	1,006032
5	0,999953	1,000047	17	0,997910	1,002094	29	0,993579	1,006462
6	0,999894	1,000106	18	0,997623	1,002383	30	0,993144	1,006903
7	0,999813	1,000187	19	0,997321	1,002686	31	0,992699	1,007355
8	0,999711	1,000289	20	0,997004	1,003005	32	0,992246	1,007815

Dichtigkeit und Volumen des Wassers für die 100 theilige Skale.

t° C.	Dichtigkeit.	Volumen.	t° C.	Dichtigkeit.	Volumen.	t° C.	Dichtigkeit.	Volumen.
— 3	0,999627	1,000373	11	0,999613	1,000387	26	0,996741	1,003270
2	0,999731	1,000269	12	0,999503	1,000497	27	0,996468	1,003545
1	0,999818	1,000182	13	0,999379	1,000621	28	0,996187	1,003828
0	0,999887	1,000113	14	0,999243	1,000758	29	0,995898	1,004119
+ 1	0,999940	1,000060	15	0,999095	1,000906	30	0,995601	1,004418
2	0,999976	1,000024	16	0,998935	1,001066	31	0,995296	1,004726
3	0,999996	1,000004	17	0,998763	1,001239	32	0,994984	1,005041
3,75	1,000000	1,000000	18	0,998580	1,001422	33	0,994665	1,005364
4	0,999999	1,000001	19	0,998386	1,001617	34	0,994338	1,005694
5	0,999988	1,000012	20	0,998181	1,001822	35	0,994005	1,006031
6	0,999962	1,000038	21	0,997965	1,002039	36	0,993665	1,006375
7	0,999920	1,000080	22	0,997740	1,002265	37	0,993319	1,006726
8	0,999865	1,000135	23	0,997504	1,002502	38	0,992968	1,007082
9	0,999795	1,000205	24	0,997259	1,002749	39	0,992610	1,007445
10	0,999711	1,000289	25	0,997004	1,003005	40	0,992247	1,007813

Absolutes Gewicht des Wassers in Nied. Oest. Mass und Gewicht.

t° R.	1 Kub. Zoll in Lothen.	1 Kub. Fuss in Pfunden.	t° R.	1 Kub. Zoll in Lothen.	1 Kub. Fuss in Pfunden.	t° R.	1 Kub. Zoll in Lothen.	1 Kub. Fuss in Pfunden.
— 3	1,043539	56,3511	9	1,043591	56,3539	21	1,040549	56,1896
2	1,043689	56,3592	10	1,043441	56,3458	22	1,040190	56,1702
1	1,043811	56,3658	11	1,043269	56,3366	23	1,039816	56,1501
0	1,043904	56,3708	12	1,043077	56,3262	24	1,039430	56,1292
+ 1	1,043970	56,3744	13	1,042866	56,3148	25	1,039031	56,1077
2	1,044010	56,3765	14	1,042637	56,3024	26	1,038619	56,0854
3	1,044022	56,3772	15	1,042388	56,2890	27	1,038197	56,0626
4	1,044010	56,3765	16	1,042123	56,2746	28	1,037762	56,0392
5	1,043973	56,3746	17	1,041840	56,2594	29	1,037319	56,0152
6	1,043912	56,3712	18	1,041541	56,2432	30	1,036864	55,9907
7	1,043827	56,3667	19	1,041225	56,2262	31	1,036400	55,9657
8	1,043720	56,3609	20	1,040894	56,2083	32	1,035927	55,9401

Zur bequemen Uibersicht, wie sich die spezifischen Gewichte des reinen Wassers vom Gefrier - bis zum Siedepunkte verändern, führen wir noch folgende Tabelle aus dem *Traité de Physique expérimentale et mathématique*, von *J. B. Biot*, Tom. I. p. 425 an, welche nach den Versuchen von *Charles* berechnet ist. In dieser Tabelle ist für die Temperatur von 0° Reaumur die spezifische Schwere = 1,00000000 gesetzt.

Temperatur des Wassers.	Volumen.	Dichtigkeit.	Temperatur des Wassers.	Volumen.	Dichtigkeit.	Temperatur des Wassers.	Volumen.	Dichtigkeit.
0	1,00000000	1,0000000	27	1,00537698	0,9946517	55	1,02314826	0,9773754
1	0,99995523	1,0000447	28	1,00581832	0,9942154	56	1,02396862	0,9765923
2	0,99993058	1,0000694	29	1,00627540	0,9937637	57	1,02480016	0,9758003
2,736	0,99992521	1,0000746	30	1,00674805	0,9932970	58	1,02564272	0,9749982
3	0,99992589	1,0000739	31	1,00723610	0,9928159	59	1,02649613	0,9741877
4	0,99994099	1,0000593	32	1,00773939	0,9923200	60	1,02736024	0,9733683
5	0,99997571	1,0000241	33	1,00825777	0,9918098	61	1,02823487	0,9725403
6	1,00002090	0,9999700	34	1,00879106	0,9912856	62	1,02911988	0,9717040
7	1,00010340	0,9998966	35	1,00935910	0,9907473	63	1,03001508	0,9708595
8	1,00019604	0,9998041	36	1,00990174	0,9901952	64	1,03092034	0,9700071
9	1,00030766	0,9996925	37	1,01047881	0,9896298	65	1,03183547	0,9691467
10	1,00043809	0,9995620	38	1,01107014	0,9890512	66	1,03276031	0,9682788
11	1,00058718	0,9994131	39	1,01167558	0,9884592	67	1,03369472	0,9674035
12	1,00075476	0,9992457	40	1,01229496	0,9878544	68	1,03463853	0,9665212
13	1,00094067	0,9990600	41	1,01292812	0,9872370	69	1,03559156	0,9656317
14	1,00114474	0,9988564	42	1,01357490	0,9866069	70	1,03655366	0,9647353
15	1,00136682	0,9986350	43	1,01423514	0,9859646	71	1,03752464	0,9638326
16	1,00160674	0,9983938	44	1,01490866	0,9853103	72	1,03850440	0,9629232
17	1,00186435	0,9981390	45	1,01559531	0,9846441	73	1,03949272	0,9620076
18	1,00213946	0,9978650	46	1,01629494	0,9839665	74	1,04048948	0,9610860
19	1,00243194	0,9975739	47	1,01700736	0,9832771	75	1,04149451	0,9601585
20	1,00274116	0,9972663	48	1,01773243	0,9825766	76	1,04250755	0,9592256
21	1,00306829	0,9969411	49	1,01846958	0,9818648	77	1,04352856	0,9582872
22	1,00341185	0,9965997	50	1,10921984	0,9811425	78	1,04455740	0,9573433
23	1,00377212	0,9962419	51	1,01998187	0,9804094	79	1,04559357	0,9563945
24	1,00414893	0,9958681	52	1,02075589	0,9796660	80	1,04663760	0,9554406
25	1,00454211	0,9954783	53	1,02154173	0,9789124			
26	1,00495152	0,9950729	54	1,02233925	0,9781423			

§. 73.

Die Kenntniss der **Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme** ist für uns von grösser Wichtigkeit, indem das Quecksilber bei den Thermometern zur Bestimmung der Temperatur, bei den Barometern aber zur Höhenmessung gebraucht wird, und in diesem Falle wegen seiner Ausdehnung durch die Wärme korrigirt werden muss. Man hat die Ausdehnung des Quecksilbers bisher als den besten Masstab zur Bestimmung der Temperatur angenommen, und nach allen Versuchen ist wirklich die Ausdehnung dieser Flüssigkeit innerhalb des Gefrier- und Siedepunktes beinahe gleichförmig. *De Luc* fand jedoch, wenn er gleiche Gewichte Wasser, wovon das eine die Temperatur des Gefrierpunktes (32° Fahr.), das andere jene des Siedepunktes (212°) hatte, vermischte, dass die Temperatur der Mischung beinahe 119° betrug, während das arithmetische Mittel dieser Temperatur nur 122° ist. In diesem Falle wurde daher die Temperatur der Mischung

durch das Quecksilber-Thermometer niedriger gefunden, als das arithmetische Mittel ausweist.

Da die Luft bei der höchsten und niedrigsten Temperatur unverändert bleibt, so sind die Luftthermometer, deren man sich zuerst bediente, die einzigen absoluten Wärmemesser. Weil nämlich die Ausdehnung der Luft durch die Wärme eine blosse Folge der Wärme ist, so muss man aus der Ausdehnung derselben auf die vorhandene Wärme genau schliessen können. Man kann daher die Ausdehnung der Luft als einziges genaues Mass der Wärme betrachten. Hiermit muss nun die Ausdehnung des Quecksilbers, dessen man sich gewöhnlich zu Thermometern bedient, verglichen werden. *Dulong* und *Petit* haben bei verschiedenen Wärmegraden sowohl das Quecksilber- als Luftthermometer beobachtet und folgende Resultate gefunden:

Quecksilber-Thermometer.	Luft-Thermometer.
— 36,23	— 36,48
— 34,72	— 34,84
— 33,31	— 33,40
— 32,27	— 32,13
— 31,63	— 31,54
— 31,26	— 31,04
— 30,46	— 30,59
— 29,68	— 29,64
0	0
+ 100	+ 100
150	148,70
200	197,05
250	245,05
300	292,70
360	350,00

Hieraus ersehen wir, dass die Ausdehnung des Quecksilbers der Ausdehnung der Luft bei höheren Temperaturgraden voreilet, zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte aber beide einander proporzional sind; wir können daher auch annehmen, dass die Ausdehnung des Quecksilbers innerhalb der beiden festen Punkte des Thermometers der Wärme proporzional sey, und dass sonach das Quecksilber sehr zweckmässig zu einem Thermometer gebraucht werden könne.

Die wirkliche Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers wurde jedoch von den Physikern verschiedentlich angegeben. Setzt man nämlich das Volumen des Quecksilbers beim Gefrierpunkte des Wassers $= 1$, so ist diess Volumen bei dem Siedpunkte des Wassers nach *Fahrenheit* $= 1{,}01610$, nach *Musschenbroek* $= 1{,}014$, nach *de l'Isle* und *Lalande* $= 1{,}0150$, nach *de Luc* $= 1{,}0185$, nach *Schuckburg* $= 1{,}0182$, nach *Roy* $= 1{,}0170$, nach *Rosenthal* $= 1{,}0171$, nach *Luz* $= 1{,}0174$, nach *Herbert* $= 1{,}0156$, nach *Cavendish* $= 1{,}01872$, nach *Dalton* $= 1{,}0200$, nach *Hällström* $= 1{,}01758$, nach *La Place* und *Lavoisier* $= 1{,}0184775$, nach den Versuchen der Londoner Sozietät $= 1{,}0184365$, nach *Dulong* und *Petit* $= 1{,}01801802$. Aus diesen Versuchen folgt die Ausdehnung des Quecksilbers für 1° Cent. zwischen den beiden festen Punkten des Thermometers nach *La Place* und *Lavoisier* $= \frac{1}{5412}$, nach den Versuchen der Londoner Sozietät $= \frac{1}{5424}$, nach *Dulong* und *Petit* $= \frac{1}{5550}$; nach den letztern beträgt aber die Ausdehnung des Quecksilbers bei 200° Cent. des Luft-Thermometers $= \frac{1}{5425}$ und bei 300° Cent. $= \frac{1}{5300}$ für 1° Cent.

§. 74.

Auf gleiche Art wurde die **Ausdehnung mehrerer tropfbarer Körper** bestimmt. Wird das Volumen derselben bei 0° Cent. = 1,00000 gesetzt, so fand man:

Name.		Volumen bei 100° C.	Ausdehnung von 0° — 100°.
Aether nach	*Dalton*	1,07000	$^1/_{14}$
Alkohol „	„	1,10000	$^1/_{10}$
Fette Oehle überhaupt „	„	1,08000	$^1/_{12,5}$
Baumöhl „	*Achard*	1,12600	$^1/_8$
„ „	*de Luc*	1,15000	$^1/_{6,7}$
Leinöhl „	„ „	1,16200	$^1/_6$
Gesättigte Kochsalzlösung „	*Dalton*	1,05000	$^1/_{20}$
Salpetersäure „	„	1,10000	$^1/_{10}$
Salzsäure „	„	1,06000	$^1/_{17}$
Schwefelsäure „	*Achard*	1,06000	$^1/_{17}$
„ „	*Dalton*	1,07580	$^1/_{13}$
Terpentinöhl „	„	1,07000	$^1/_{14}$
Wasser „	*Hällström*	1,04775	$1/_{20,9}$

§. 75.

Wenn man für irgend einen Körper die ihm eigenthümliche Längenausdehnung λ für einen Grad des Thermometers kennt, so lässt sich leicht berechnen, wie viel seine Ausdehnung von t bis t' Grad betragen werde. Ist nämlich L die ursprüngliche Länge dieses Körpers bei 0°, so beträgt die Ausdehnung desselben für t° offenbar $\lambda . t . L$, demnach ist die ausgedehnte Länge $l = L + \lambda . t . L = L\ (1 + \lambda . t)$.

Auf gleiche Art findet man für die Temperatur t' die Länge $l' = L\ (1 + \lambda . t')$. Wird diese Gleichung durch die vorhergehende dividirt, so ist

$\frac{l'}{l} = \frac{1 + \lambda . t'}{1 + \lambda . t} = 1 + \lambda . t' - \lambda . t - \lambda^2 . t . t' \ldots;$ da aber λ immer ein sehr kleiner Bruch ist, demnach die höhern Potenzen von λ vernachlässigt werden können, so ist

$l' = l\ \{1 + \lambda\ (t' - t)\}$.

Von dieser Ausdehnung nach der **Länge** eines Körpers hat man jene seines ganzen **Raumes** oder **Volumens** zu unterscheiden. Diese tritt bei jedem **Hohlmaasse** ein, welches für eine bestimmte oder Normal-Temperatur z. B. von 14° Reaumur festgesetzt wird, und bei jeder andern Temperatur einen grössern oder kleinern Raum einnimmt, demnach bei jedem genauen Gebrauche desselben immer erst auf die Normaltemperatur reduzirt werden muss. Es sey k der kubische Inhalt eines Körpers bei der Normaltempe-

ratur von t^0, und k' der Kubikinhalt bei t' Grad, ferner seyen l und l' die Längen ähnlich liegender Linien bei diesen Körpern für t und t' Grad. Da bei ähnlichen Körpern die kubischen Inhalte zu einander im Verhältnisse der dritten Potenzen ähnlich liegender Seiten stehen, so ist $k : k' = l^3 : (l')^3$ und wenn man statt l' den vorhin gefundenen Werth substituirt $k : k' = 1 : \{1 + \lambda(t' - t)\}^3$. Nun ist aber $\{1 + \lambda(t' - t)\}^3$ sehr nahe $= 1 + 3\lambda(t' - t)$, daher auch $k' = k\{1 + 3\lambda(t' - t)\}$.

Hieraus sehen wir, dass $3\lambda . k(t' - t)$ die Ausdehnung des Körpers im kubischen Raume ist, welche durch eine Aenderung der Temperatur von t auf t' erfolgt. Nach dieser Formel lässt sich nun auch die Korrekzion eines jeden Hohlmasses berechnen.

Beispiel. Nach „*Jäckel* neueste Europäische Münz-, Mass- und Gewichtskunde, Wien 1828 bei Gerold" Seite 452 u. f. des II. Bandes soll zufolge des *Maria Theresia*nischen Patentes vom 14. Juli 1756 das in Oesterreich gesetzlich eingeführte Getraidemass, der Metzen bei der mittlern Temperatur (von 14° Reaumur) dem Inhalte eines zylindrischen Gefässes gleich kommen, welches den Durchmesser von 15'' 5''' 2'''' = 15,430556 N. Oe. Zoll und eine Höhe von 18 N. Oe. Zoll hat. Bezeichnet r den Halbmesser und h die Höhe eines zylindrischen Gefässes, so ist dessen Inhalt $= \pi . r^2 . h$, wo $\pi = 3{,}14159265\ldots$, demnach ist der kubische Inhalt des österreichischen Metzen = 3366,0885 N. Oe. Kubikzoll. Wäre diess Gefäss aus Schmiedeeisen verfertigt, so haben wir nach *Lavoisier* die Ausdehnung $\lambda = \frac{0{,}00122045}{80} = 0{,}00001526$ (§. 69), ferner $k = 3366{,}0885$ und $t = 14°$ R. Soll nun diess Mass z. B. auf die Temperatur des Gefrierpunktes 0° R. reduzirt werden, so ist dessen Inhalt

$k' = 3366{,}0885 - 3366{,}0885 . 3 . 14 . 0{,}00001526 = 3366{,}0885 - 2{,}1574 = 3363{,}9311$ N. Oe. Kubikzoll.

Das gesetzliche Grundmass der Flüssigkeitsmasse in Oesterreich ist die Wiener oder Niederösterreicher Mass. Nach ihrer Lehre soll der Durchmesser 2'' 10''' 5'''' = 2,86805556 Zoll und die Höhe 12 Zoll, demnach der kubische Inhalt 77,5258 Kubikzoll bei 14° R. betragen. Wäre dieses Mass von Messing, so hat man nach *Lavoisier* für 0° R., $k' = 77{,}5258\,(1 - 3 . 14 . 0{,}00002333) = 77{,}5258 - 0{,}0760 = 77{,}4498$ Kubikzoll. Ein Gefäss, das bei der Temperatur von 0° gemessen, 7744,98 Kubikzoll enthielte, würde bei 14° R. schon 7752,58 Kubikzoll = 100 Mass, mithin im ersten Falle um 7,6 Kubikzoll weniger enthalten.

Der Wiener oder N. Oe. Eimer Bier enthält 40 Mass, folglich $40 . 77{,}5258 = 3101{,}032$ Kubikzoll bei der Temperatur von 14° R; dieses Mass ist für das Ausschenken festgesetzt. Weil aber das Bier nicht ohne Hefen bereitet werden kann, so sind hiefür noch 2½ Mass bemessen; demnach muss ein Biereimer in den Bräuhäusern 42½ Mass enthalten. Die Aenderungen dieses Masses bei verschiedenen Wärmegraden, so wie dessen Redukzion auf die Temperatur von 0° R. werden auf gleiche Art wie in den frühern Beispielen gefunden, wenn nur die Längenausdehnung der Materie, woraus das Gefäss verfertigt wurde, bekannt ist.

Man sieht aus diesen Vergleichungen, welchen Einfluss die Wärme auf den Rauminhalt der Gefässe nimmt und wie nothwendig es sey, bei genauen Untersuchungen und Messungen dieser Art auch auf die Wärme die nöthige Rücksicht zu nehmen.

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

§. 76.

Wir kommen nun zu der Aufgabe, **das Gewicht eines Kubikfusses Luft mit Rücksicht auf die Temperatur und den Druck der Luft zu bestimmen.**

Das Gewicht der Luft ist offenbar sowohl von dem Barometer- als Thermometerstande abhängig. Steht nämlich das Barometer höher, oder ist der Druck der Luft grösser, so ist die Luft schwerer, weil sie mehr zusammengedrückt ist, und folglich eine grössere Dichtigkeit besitzt; nimmt dagegen die Wärme zu, so wird die Luft ausgedehnt, sie nimmt einen grösseren Raum ein und wird daher spezifisch leichter. Es sey daher das Gewicht eines Kubikfusses Luft bei 28 (pariser) Zoll Barometerhöhe und dem Gefrierpunkte aus Versuchen $= 1$ gefunden worden.

Um zuerst den Einfluss der Barometerhöhe in Rechnung zu bringen, nehmen wir dieselbe mit H Zoll an; ist H grösser als 28 Zoll, so wird die Luft, die bei der Barometer-
Fig. 12. Tab. 43. höhe von 28 Zoll den Raum ABCD eines Kubikfusses einnahm, und 1 Pfunde wog, durch die grössere Barometerhöhe H auf den Raum EBCF zusammengedrückt. Nach dem *Mariotte*'schen Gesetze verhalten sich die Räume der Luft verkehrt wie die drückenden Höhen; demnach wird bei einer doppelten Druckhöhe oder für $H = 2.28$ Zoll der Raum $EBCF = \frac{ABCD}{2}$ seyn, für welchen Fall das Gewicht der Luft in einem Kubikfusse doppelt so gross seyn muss. Auf gleiche Art folgt, dass für den Fall als $H = 3.28$ Zoll, auch das Gewicht der Luft in einem Kubikfusse $= 3\,1$ seyn müsse u. s. w.; demnach verhalten sich die Gewichte der Luft gerade wie die Barometerhöhen, oder $28'' : 1 = H'' : \frac{1.H}{28}$.

Dieses Gewicht eines Kubikfusses Luft $\frac{1.H}{28}$ gilt nur für den Gefrierpunkt und für die Barometerhöhe H. Wir verlangen jedoch das Gewicht eines Kubikfusses Luft (x) für die Temperatur von t Graden. Nach den Seite 78 angeführten Erfahrungen wird die Luft durch 80 Grad Wärme nach Reaumur um drei Achtel ihrer Länge ausgedehnt; setzen wir
Fig. 13. also die Ausdehnungen überhaupt den Wärmegraden proportional, so finden wir die Ausdehnung DH für einen Kubikfuss ABCD Luft, wenn $CD = 1$ gesetzt wird, aus der Proportion $80^\circ : \frac{3}{8} = t^\circ : DH$ und $DH = \frac{3t}{640}$. Demnach ist $CH = 1 + \frac{3t}{640}$. Die Luft, welche in diesen Raum ausgedehnt wurde, wiegt noch $\frac{1.H}{28}$; wir suchen aber bloss das Gewicht von 1 Kubikfuss oder der in CD enthaltenen Luft. Diess ergibt sich offenbar aus der Proportion $1 + \frac{3t}{640} : \frac{1.H}{28} = 1 : x$, woraus $x = \frac{1.H}{28\left(1 + \frac{3t}{640}\right)}$.

Diese Formel gibt uns das Gewicht eines Kubikfusses Luft für jeden Barometerstand H und jede Temperatur t an, wenn nur das Gewicht der Luft für die Temperatur von $t = 0^\circ$ und $H = 28$ Zoll durch einen Versuch vorher bestimmt wurde. Wie sodann das Gewicht der Luft zu- und abnimmt, zeigt uns genau die Formel. Setzen wir $t = 0$ und $H = 28$, so ist $x = 1$; wäre $t = 0$ und $H = 2.28$ Zoll, so ist $x = 2\,1$; wäre

$H = 28$ Zoll und $t = 20$ Grad, so ist $x = \frac{l}{1 + {}^{3}/_{32}} = \frac{32\,l}{35}$; wäre $H = 28$ Zoll und $t = -20^{\circ}$, so ist $x = \frac{32\,l}{29}$ u. s. w.

§. 77.

Das Gewicht l eines Kubikfusses Luft bei dem Gefrierpunkte und der Barometerhöhe von 28 Zoll wird durch einen Versuch sehr schwer zu bestimmen seyn, weil diese Barometerhöhe mit der Temperatur von 0 Grad nur äusserst selten eintreten wird. Dagegen wird es leichter seyn, das Gewicht eines Kubikfusses Luft (x) für eine andere Barometerhöhe H und die Temperatur t zu bestimmen, und nunmehr l aus der Formel durch Rechnung zu finden. Zu diesem Behufe wählt man einen hohen Thurm oder einen Berg, dessen Höhe durch trigonometrische Messungen oder durch Nivellirung genau bestimmt ist, und beobachtet das Barometer und Thermometer sowohl unten am Fusse des Berges als oben in der Höhe. Eine Beobachtung dieser Art wurde am 23. September 1822 gleichzeitig im Observationszimmer unter der Sternwarte von Herrn Astronom *Aloys David* zu Prag und auf dem weissen Berge vor dem Stifte St. *Margareth* im Niveau der Schlossthurmspitze von dem Herrn Professor der Physik *Cassian Hallaschka* vorgenommen. Die Resultate derselben waren:

Zu Prag im Klementinum, im 2. Stock.				Auf dem weissen Berge:	
23ten September 1822.	Barometer in Pariser Mass.	Thermometer am Barometer nach Reaumur.	Thermometer in der freien Luft nach Reaumur.	Barometer in Pariser Mass.	Thermometer am Barometer und in der freien Luft.
9h 0Min. Morgens	27'' 7''',21	+ 13°,0	+ 12°,9	27'' 1''',34	+ 11°,5
30	„ 7''',13	13°,0	13°,0	„ 1''',32	12°,3
10h 0	„ 7''',02	13°,0	13°,5	„ 1''',24	12°,9
30	„ 7''',02	13°,0	13°,9	„ 1''',30	13°,7
11h 0	„ 6''',98	13°,0	14°,0	„ 1''',24	13°,4
30	„ 6''',86	13°,0	14°,3	„ 1''',19	13°,7
12h 0	„ 6''',78	13°,0	14°,5	„ 1''',07	14°,0
30	„ 6''',66	13°,1	15°,0	„ 1''',17	15°,0
1h 0	„ 6''',41	13°,3	15°,5	„ 1''',06	16°,0

Aus den Messungen des Herrn Astronom *David* mit dem *Reichenbach*'schen Kreise ergab sich ein Höhenunterschied zwischen der Schlossthurmspitze und dem Beobachtungsorte im Klementinum von 77,1776 Pariser Toisen, oder 79,3108 N. Oe. Klafter.

Um aus den vorstehenden Beobachtungen das Verhältniss des Gewichtes eines Kubikfusses Luft zum Gewichte eines Kubikfusses Quecksilber zu berechnen, sey der Höhen-

unterschied zwischen dem Beobachtungspunkte am weissen Berge oder der Schlossthurmspitze und dem Beobachtungsorte im Klementinum = a, die Barometerhöhe am weissen Berge = h, und jene im Klementinum = H; ferner seyen die Querschnittsflächen der Barometerröhren an dem Orte, wo die Luft das Quecksilber berührt = f und f′, und die Höhe der Luftsäule von der Schlossthurmspitze bis zum Ende der Atmosphäre = A, das Gewicht eines Kubikfusses Quecksilber in der Barometerröhre bei dem Gefrierpunkt = q, endlich das mittlere Gewicht eines Kubikfusses Luft in der Luftsäule vom Klementinum bis zur Schlossthurmspitze zur Zeit der Beobachtung = x.

Nach den Grundsätzen der Statik flüssiger Körper ist der Druck der Luft auf die Quecksilbersäule einer Barometerröhre dem Gewichte einer Luftsäule gleich, welche zur Grundfläche die Querschnittsfläche der Barometerröhre am Orte ihrer gemeinschaftlichen Berührung, und zur Höhe die Höhe der Atmosphäre über der Oberfläche des Quecksilbers hat. Diesem Grundsatze zu Folge erhalten wir am weissen Berge $f.h.q = f.A.\lambda$, und beiderseits mit f dividirt $h.q = A.\lambda$, wo λ das mittlere Gewicht eines Kubikfusses Luft in der Säule vom weissen Berge bis zum Ende der Atmosphäre ist. Auf gleiche Art erhalten wir für das Barometer im Klementinum $f'.H.q = f'.A.\lambda + f'.a.x$, und beiderseits mit f' dividirt $H.q = A.\lambda + a.x$. Wird die obere Gleichung von der untern abgezogen, so bleibt $q(H-h) = a.x$, oder $\frac{x}{q} = \frac{H-h}{a}$, oder auch $H-h : a = x : q$ (I) d. i. der Unterschied der beobachteten Barometerhöhen verhält sich zur wirklichen Höhe der zwei Beobachtungsorte wie das Gewicht eines Kubikfusses Luft sich zum Gewichte eines Kubikfusses Quecksilber verhält.

Wird in dieser Proporzion der im vorigen Paragraphe für das Gewicht eines Kubikfusses Luft gefundene Werth in der Art substituirt, dass für die Barometerhöhe die mittlere Höhe $\frac{H+h}{2}$, und für den Thermometerstand die mittlere Temperatur $\frac{T+t}{2}$ der zwei Beobachtungsorte gesetzt, demnach $x = \frac{1\,(H+h)}{2.28\left\{1+\frac{3}{640}\left(\frac{T+t}{2}\right)\right\}}$ angenommen, so erhalten wir $H-h : a = \frac{1\,(H+h)}{2.28\left\{1+\frac{3}{640}\left(\frac{T+t}{2}\right)\right\}} : q$ und hieraus

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{H-h}{H+h}\right)\frac{2.28}{a}\left\{1+\frac{3}{640}\left(\frac{T+t}{2}\right)\right\} \text{ (II).}$$

Die Barometerhöhen, welche in dieser Proporzion vorkommen, zeigen den jedesmaligen Druck der Atmosphäre an, welcher mit dem Gewichte der Quecksilbersäulen im Gleichgewichte steht. Die Länge jeder Quecksilbersäule hängt aber auch von der Temperatur ab, indem das Quecksilber durch die Wärme ausgedehnt wird. Da die Temperaturen, welche am Barometer im Zimmer der Sternwarte, und am weissen Berge beobachtet wurden, verschieden sind, so müssen wir beide auf eine gemeinschaftliche Temperatur zurückführen, wofür wir die Temperatur des schmelzenden Schnees oder 0° des Thermometers annehmen. Nach dem Versuche der Herren *Dulong* und *Petit* beträgt die Ausdehnung des Quecksilbers für jeden Grad des *Reaum.* Thermometers den $\frac{1}{4440}$ten Theil der Länge der Quecksilbersäule, die indessen = 1 gesetzt wird,

mithin für t Grade $= \frac{t}{4440} = 0{,}0002252\ t$. Eben so beträgt die Ausdehnung des Glases für t Grade nach *Roy* $= 0{,}0000097\ t$, mithin beträgt die sichtbare Ausdehnung des Quecksilbers allein $= 0{,}0002155\ t$, wo t die am Barometer beobachteten *Reaum.* Wärmegrade vorstellt.

Zur Bestimmung der wahren Barometerhöhe hat man daher die Proporzion: Die ausgedehnte Länge verhält sich zur Länge beim Gefrierpunkte wie die beobachtete Barometerhöhe zur Barometerhöhe z bei dem Gefrierpunkte, oder $1 + 0{,}0002155\ t : 1 = H : z$. Hieraus ergibt sich die verbesserte Barometerhöhe $z = \frac{H}{1 + 0{,}0002155\ t}$ (III). Substituirt man in diese Gleichung die beobachteten Barometerhöhen und die zugehörigen Wärmegrade, so ergibt sich folgende Tabelle:

Zu Prag im Klementinum, im 2. Stock.					Auf dem weissen Berge.		
23. September 1822.	Beobachtete Barometerhöhe H	Thermometer am Barometer (nach Reaumur)	Thermometer in der freien Luft (nach Reaumur)	Verbesserte Barometerhöhe $\frac{H}{1+0{,}0002155\ t}$ in par. Linien.	Beobachtete Barometerhöhe h	Thermometer am Barometer und in der freien Luft.	Verbesserte Barometerhöhe $\frac{h}{1+0{,}0002155\ t}$ in par. Linien.
Morgens $9^h\ 0'$	$27''\ 7{,}21''' = 331{,}21'''$	$13^\circ{,}0$	$12^\circ{,}9$	330,285	$27''\ 1{,}34''' = 325{,}34'''$	$11^\circ{,}5$	324,536
„ $30'$	$7{,}13''' = 331{,}13'''$	$13^\circ{,}0$	$13^\circ{,}0$	330,205	„ $1{,}32''' = 325{,}32'''$	$12^\circ{,}3$	324,460
$10^h\ 0'$	$7{,}02''' = 331{,}02'''$	$13^\circ{,}0$	$13^\circ{,}5$	330,095	„ $1{,}24''' = 325{,}24'''$	$12^\circ{,}9$	324,338
„ $30'$	$7{,}02''' = 331{,}02'''$	$13^\circ{,}0$	$13^\circ{,}9$	330,095	„ $1{,}30''' = 325{,}30'''$	$13^\circ{,}7$	324,342
$11^h\ 0'$	$6{,}98''' = 330{,}98'''$	$13^\circ{,}0$	$14^\circ{,}0$	330,055	„ $1{,}24''' = 325{,}24'''$	$13^\circ{,}4$	324,304
„ $30'$	$6{,}86''' = 330{,}86'''$	$13^\circ{,}0$	$14^\circ{,}3$	329,935	„ $1{,}19''' = 325{,}19'''$	$13^\circ{,}7$	324,233
$12^h\ 0'$	$6{,}78''' = 330{,}78'''$	$13^\circ{,}0$	$14^\circ{,}5$	329,856	„ $1{,}07''' = 325{,}07'''$	$14^\circ{,}0$	324,092
„ $30'$	$6{,}66''' = 330{,}66'''$	$13^\circ{,}1$	$15^\circ{,}0$	329,720	„ $1{,}17''' = 325{,}17'''$	$15^\circ{,}0$	324,122
$1\ 0'$	$6{,}41''' = 330{,}41'''$	$13^\circ{,}3$	$15^\circ{,}5$	329,466	„ $1{,}06''' = 325{,}06'''$	$16^\circ{,}0$	323,943
	Summa	$117^\circ{,}4$	126,6	2969,721		$122^\circ{,}5$	2918,370
	Mittel . .	$13^\circ{,}044$	14,067	329,969		$13^\circ{,}611$	324,263

Werden nun diese verbesserten Barometerhöhen statt H und h in die Gleichung II substituirt, so ergibt sich das Gewichtsverhältniss von einem Kubikfuss Luft zu einem Kubikfuss Quecksilber, wegen $\frac{a''}{2 . 28''} = \frac{463{,}0656 . 12}{2 . 28} = 99{,}2283$, für die erste Beobachtung

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{H-h}{H+h}\right)\frac{1}{99{,}2283}\left\{1 + \frac{3}{640}\left(\frac{T+t}{2}\right)\right\} = \left(\frac{330{,}285 - 324{,}536}{330{,}285 + 324{,}536}\right)\frac{1}{99{,}2283}\left\{1 + \frac{3}{640}\left(\frac{12{,}9 + 11{,}5}{2}\right)\right\} = 0{,}0000935.$$

Auf gleiche Art findet man für die zweite Beobachtung $0{,}0000937$; für die dritte $= 0{,}0000941$;

für die vierte $= 0{,}0000943$; für die fünfte $= 0{,}0000943$; für die sechste $= 0{,}0000936$; für die siebente $= 0{,}0000948$; für die achte $= 0{,}0000947$, endlich für die neunte $= 0{,}0000915$. Hieraus ergibt sich der mittlere Werth $\frac{1}{q} = 0{,}0000938$.

§. 78.

Obwohl dieses Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zur spezifischen Schwere des Quecksilbers mit der möglichsten Genauigkeit berechnet worden ist, so müssen wir doch bemerken, dass dasselbe mit den genauesten Erfahrungen anderer Physiker nicht übereinstimmt, wovon die Ursache theils in der verschiedenen spezifischen Schwere des im Barometer befindlichen Quecksilbers, theils auch in der Luft liegen kann. Die spezifische Schwere des Quecksilbers, welches sich in den Barometern des Herrn Professor *Hallaschka* befunden hat, wurde von demselben eigens untersucht, und $13{,}652$ gefunden. In unserm Handbuche Seite 43 wurde die spezifische Schwere des Quecksilbers nach den Erfahrungen der englischen Physiker $= 13{,}593$ angegeben; *Boerhave* hat die spezifische Schwere des einmal destillirten Quecksilbers $= 13{,}570$ gefunden, und nachdem dasselbe zur Erzielung einer grössern Reinigung mit Gold versetzt und 100 Mal destillirt worden war, ergab sich dessen spezifische Schwere $= 13{,}85$, nach einer 511 maligen Destillirung aber $= 14{,}110$.

Weil jedoch bei der gewöhnlichen Verfertigung der Barometer keine so kostbaren Mittel zur Reinigung des Quecksilbers angewendet werden, so können wir annehmen, dass die Verschiedenheit der spezifischen Schwere des in den Barometern befindlichen Quecksilbers von dem Verhältnisse $13{,}57 : 13{,}65 = 1 : 1 + \frac{1}{170}$ begränzt werde, welcher Unterschied bei weitem nicht hinreicht, um hieraus die verschiedenen Verhältnisse der aus Barometerbeobachtungen und Höhenmessungen abgeleiteten spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber zu erklären.

§. 79.

Da die **Bestimmung der spezifischen Schwere der Luft** ein höchst wichtiger Gegenstand der neuern Physik ist, und die daraus abzuleitende genauere Vorschrift für die Höhenmessungen der Berge noch in mancherley Hinsicht ein eigenes Interesse hat, so wollen wir versuchen, die Resultate der bisher bekanntgewordenen Höhenmessungen mit den an beiden Standpunkten beobachteten Barometerhöhen zusammenzustellen, um hieraus eine genauere Bestimmung der spezifischen Schwere der Luft abzuleiten. Hiezu ist aber nothwendig, vorerst die genauere Methode *) anzuführen, nach welcher sowohl die Höhenmessungen, als auch die spezifische

*) Man bezeichne mit λ das Gewicht eines Kubikfusses Luft und mit q das Gewicht eines Kubikfusses Quecksilber. Ferner sey auf der unbestimmten Höhe u über den untern Standpunkt die Barometerhöhe y und der Wärmegrad t beobachtet worden. Steigt man mit dem Barometer um die Höhe du höher, so wird die Barometerhöhe um dy kleiner werden, und es muss wegen der Gleichheit der Gewichte der Luftsäule $f.\lambda.du$ und der Quecksilbersäule $-f.q.dy$ die Gleichung $\lambda.du = -q.dy$ Statt finden. Wir haben schon oben bemerkt, dass die Gewichte λ und q sowohl von der Wärme als auch von der spezifischen Schwere dieser Körper abhängig sind; zu dieser Absicht haben wir bereits eine Gleichung angegeben, wodurch die Länge der Quecksilber-

Schwere der Luft für alle wie immer grosse Höhen aus genauen Barometer- und Thermometerbeobachtungen abgeleitet werden können. Wir wollen nun die in der Note an-

säule auf diejenige reduzirt wird, welche bei dem Gefrierpunkte Statt finden würde. Wenn wir demnach annehmen, dass die beobachteten Barometerhöhen diese Reduktion schon erhalten haben, so ist nöthig, dasselbe auch noch für die Luft zu thun, und hiezu haben wir bereits oben gefunden, dass für λ der Werth $\frac{l \cdot y}{28\left(1+\frac{3t}{640}\right)}$ gesetzt werden müsse. Weil aber das Gewicht der Körper nicht nur auf hohen Bergen wegen der grössern Entfernung vom Mittelpunkte der Erde geringer ist, sondern auch wegen der bekannten Abplattung der Erde vom Aequator gegen die Pole hin zunimmt; so wollen wir überhaupt den Halbmesser der Erde an der Oberfläche des Meeres $= r$ und auf der unbestimmten Höhe z über dem Meere $= r + z$ setzen; demnach ist das Gewicht des Quecksilbers auf dieser Höhe $= q\left(\frac{r}{r+z}\right)^2$ und auf gleiche Art das Gewicht der Luft $\lambda\left(\frac{r}{r+z}\right)^2$. Mit Rücksicht auf diese beiden Umstände erhalten wir die Gleichung

$\frac{l \cdot y}{28\left(1+\frac{3t}{640}\right)}\left(\frac{r}{r+z}\right)^2 . du = -q\left(\frac{r}{r+z}\right)^2 . dy$, und weil hier $\left(\frac{r}{r+z}\right)^2$ auf beiden Seiten gleich ist, so können wir mit diesem Faktor beide Theile dividiren und es bleibt daher nur die Gleichung

$-\frac{dy}{y} = \frac{l \cdot du}{28\,q\left(1+\frac{3t}{640}\right)}$ übrig.

Um diese Gleichung zu integriren ist es nöthig den Wärmegrad t durch eine Funkzion der Höhe u auszudrücken. Zu dieser Absicht sey die Wärme am untern Standpunkte $= T$, und am obern Standpunkte $= T'$. Setzen wir die Höhe des obern Standpunktes über den untern $= a$, so finden wir den Unterschied der Wärme, um wie viel nämlich der Wärmegrad auf der Höhe u kleiner ist, als am untersten Standpunkte aus der Proporzion $a : T - T' = u : \frac{u}{a}(T - T')$. Wenn wir nun diese Grösse von dem Thermometerstande T am untern Standorte abziehen, so ergibt sich für die Höhe u der Thermometerstand $t = T - \frac{u}{a}(T - T')$. Dieser Werth in die obige Gleichung gesetzt gibt $-\frac{dy}{y} = \frac{l \cdot du}{28\,q\left\{1+\frac{3}{640}\left(T-(T-T')\frac{u}{a}\right)\right\}}$. Das Integrale dieser Gleichung ist

$$\text{nat. log } y = \frac{l}{28\,q} \cdot \frac{a}{\frac{3}{640}(T-T')} \cdot \text{nat. log}\left\{1+\frac{3}{640}\left(T-(T-T')\frac{u}{a}\right)\right\} + \text{Konst.}$$

Zur Bestimmung der Konstanten ist zu bemerken, dass am untern Standorte $u = 0$ und $y = H$ wird. Daraus folgt $\text{nat. log } H = \frac{l}{28\,q} \cdot \frac{a}{\frac{3}{640}(T-T')} \cdot \text{nat. log}\left\{1+\frac{3T}{640}\right\} + \text{Konst.}$

Wird die obige Gleichung von dieser abgezogen, so ist

$$\text{nat. log } \frac{H}{y} = \frac{l}{28\,q} \cdot \frac{640\,a}{3(T-T')} \cdot \text{nat. log}\left\{\frac{1+\frac{3T}{640}}{1+\frac{3}{640}\left(T-(T-T')\frac{u}{a}\right)}\right\}.$$

Wird nun für den obern Stand $y = h$ und $u = a$ gesetzt, so erhalten wir

$$\text{nat. log } \frac{H}{h} = \frac{l}{28\,q} \cdot \frac{640\,a}{3(T-T')} \cdot \text{nat. log}\left\{\frac{1+\frac{3T}{640}}{1+\frac{3T'}{640}}\right\}.$$

gegebene Gleichung für $\frac{1}{q}$ annnehmen, und an die Stellen der Grössen H, h, T, T' und a diejenigen Werthe setzen, welche denselben durch zuverlässige Beobachtungen der Naturforscher zukommen.

In *Gehler's* physikalischem Wörterbuche 5. Band, Leipzig 1829 Seite 292 finden wir folgende von *Ramond* auf dem *Pic de Bigore* und gleichzeitig von *Dangos* in *Tarbes* angestellte Beobachtung: Es war $h = 19{,}845$ par. Zoll, und die Temperatur am Barometer $= 7{,}6^\circ$ *Reaum.*, in der freyen Luft $T' = 3{,}2$ *Reaum.* Grade, $H = 27{,}17$ par. Zolle, und die Temperatur am Barometer $= 14{,}9$ *Reaum.* Grade, jene der Luft aber $T = 15{,}3$ Grade, endlich die gemessene Höhe $a = 8044$ par. Fuss. Daraus ergeben sich die verbesserten Barometerhöhen $h = 19{,}813$ Zoll, dann $H = 27{,}083$ Zolle, und das Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft und des Quecksilbers $\frac{1}{q} = 0{,}0000946$.

Im 1[ten] Bande der *Nouvelle architecture hydraulique par Mr. de Prony* ist §. 640 folgende Beobachtung angegeben. Herr *Saussure* fand auf dem *Col du géant* aus 85 Beobachtungen die mittlere Barometerhöhe $h = 227{,}355$ par. Linien und die Wärme $T' = 3{,}63$ *Reaumur* Grade; zu gleicher Zeit fand Herr *Lévesque* in der *Prieurie de Chamouni* die Barometerhöhe $H = 300{,}63$ par. Linien, und die Thermometerhöhe $T = 17{,}288$ *Reaumur* Grade. Die geometrische Messung gab die Höhe zwischen beiden Standorten 1223 *Toisen*, folglich $a = 88056$ par. Zoll. Wenn die Barometerhöhen auf den Gefrierpunkt reduzirt werden, so geben diese Beobachtungen nach der obigen Gleichung $\frac{1}{q} = 0{,}0000922$.

Aus einer grossen Anzahl ähnlicher Barometerbeobachtungen und der Vergleichung mit ihren gemessenen Höhen hat *de Luc* gefunden, dass aus der Gleichung

Es ist aber $\text{nat. log}\left(1 + \frac{3\,T}{640}\right) = \frac{3\,T}{640} - \frac{1}{2}\left(\frac{3\,T}{640}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{3\,T}{640}\right)^3 - \ldots\ldots$ und

$$\text{nat. log}\left(1 + \frac{3\,T'}{640}\right) = \frac{3\,T'}{640} - \frac{1}{2}\left(\frac{3\,T'}{640}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{3\,T'}{640}\right)^3 - \ldots\ldots\ldots \text{ daher}$$

$$\text{nat. log}\left\{\frac{1 + \frac{3\,T}{640}}{1 + \frac{3\,T'}{640}}\right\} = \frac{3}{640}(T - T') - \frac{1}{2}\left(\frac{3}{640}\right)^2 (T^2 - T'^2) + \frac{1}{3}\left(\frac{3}{640}\right)^3 (T^3 - T'^3) \ldots\ldots$$

Wird diese Reihe mit $\frac{640}{3(T - T')}$ multiplizirt, und in die obige Gleichung substituirt, so erhält man

$$\text{nat. log}\,\frac{H}{h} = \frac{1}{28\,q} \cdot a\left\{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{640}(T + T') + \frac{1}{3}\left(\frac{3}{640}\right)^2 (T^2 + T.T' + T'^2) \ldots\ldots\right\}.$$

Daraus ergibt sich das genauere Verhältniss

$$\frac{1}{q} = \frac{28}{a} \cdot \frac{e(\log H - \log h)}{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{640}(T + T') + \frac{1}{3}\left(\frac{3}{640}\right)^2 (T^2 + T.T' + T'^2) - \ldots} =$$

$$\frac{28}{a} \cdot e\{\log H - \log h\}\left\{1 + \frac{3}{640}\left(\frac{T + T'}{2}\right) - \frac{1}{12}\left(\frac{3(T - T')}{640}\right)^2 + \ldots\right\} \text{ wo } e = 2{,}3025351 \text{ ist.}$$

In dieser Gleichung kann jedoch das Glied $-\frac{1}{12}\left(\frac{3(T - T')}{640}\right)^2$ als unbedeutend ohne Anstand vernachlässigt werden.

$10000\left\{1+\frac{t-16^3/_4}{215}\right\}\cdot\log\frac{H}{h}=u$ die Höhe u in *Toisen* gefunden werde. Daraus folgt, dass in dem Falle, wenn die mittlere Wärme der Luftsäule zwischen beiden Standpunkten $t=16^3/_4$ *Reaum.* Grade beträgt, die gemessene Höhe in Toisen $u=10000\log\frac{H}{h}$ seyn müsse. Wird nun mit dieser Gleichung unsere in der Note angeführte allgemeine Gleichung zur Bestimmung der Höhe a verglichen und bemerkt, dass dieselbe mit 72 dividirt werden müsse, um die Höhe in *Toisen* zu erhalten, so haben wir $\frac{a}{72}=u=\frac{28}{72}\cdot\frac{q}{1}\cdot 2{,}3025851\left\{1+\frac{3.16{,}75}{640}\right\}.\log\frac{H}{h}=10000.\log\frac{H}{h}$. Hieraus folgt $\frac{1}{q}=\frac{28}{72}\cdot\frac{2{,}3025851}{10000}\left\{1+\frac{3.16{,}75}{640}\right\}=0{,}0000966.$

Auf gleiche Art hat *Trembley* aus einer noch grössern Anzahl verglichener Beobachtungen für die Berechnung der Höhen die Gleichung u in *Toisen* $=10000\left\{1+\frac{t-11{,}5}{192}\right\}.\log\frac{H}{h}$ gefunden. Aus dieser Gleichung folgt abermals, dass für den Fall, wenn $t=11{,}5$ ist, die gemessene Höhe in *Toisen* $=10000.\log\frac{H}{h}$ seyn müsse. Wenn wir diese wieder $=\frac{28}{72}\cdot\frac{q}{1}\cdot 2{,}3025851\left\{1+\frac{3.11{,}5}{640}\right\}.\log\frac{H}{h}$ setzen, so ergibt sich $\frac{1}{q}=0{,}0000944.$

Da diese angeführten Beobachtungen mit aller Genauigkeit angestellt und durch eine grosse Anzahl anderer Beobachtungen bestätiget worden sind, so ergibt sich von selbst, dass die gefundenen Differenzen in der Bestimmung des Verhältnisses $\frac{1}{q}$ nicht den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden können, sondern in irgend einem andern bisher noch nicht berücksichtigten Umstand ihren Grund haben müssen.

Um diesen aufzuklären, wollen wir zuerst die Beobachtungen der Akademiker *de la Condamine*, *Bouguer* und *Godin* anführen, welche in der an der Kirche zu *Quito* hinterlassenen Innschrift bemerkten, dass die mittlere Höhe des Barometers am Ufer des Südmeeres H = 28 Zoll 0 Linien par. Mass, und die mittlere Wärme T = 23 Grad *Reaum.*, dann in der Stadt *Quito* die Barometerhöhe h = 20 Zoll ¹/₄ Linie, die Wärme = 13 *Reaum.* Grade, die gemessene Höhe über dem Südmeere u = 1462 *Toisen*, dann auf dem Berge *Pichincha* die Barometerhöhe h′ = 16 Zoll 0 Linien, die mittlere Wärme = 3 Grad, und die gemessene Höhe über dem Meere = 2432 *Toisen* gefunden wurde.

Da diese Beobachtungen in der freyen Luft gemacht wurden, so müssen wir sie vorläufig auf diejenigen Barometerhöhen zurückführen, welche das Barometer bei dem Gefrierpunkt gezeigt haben würde. Nach der für die Redukzion der Barometerhöhen §. 77 angegebenen Formel ergibt sich die reduzirte Barometerhöhe am Ufer des Südmeeres $=27{,}8619$ Zoll, in *Quito* $=19{,}9649$ Zoll, und auf dem *Pichincha* $=15{,}9897$ Zoll. Mit diesen Werthen findet man das Verhältniss $\frac{1}{q}$ für den Zwischenraum vom Ufer des Meeres bis *Quito* $=0{,}0000961$, für den Zwischenraum vom Meere bis *Pichincha* $=0{,}0000942$, und dann für den Zwischenraum von *Quito* bis *Pichincha* $=0{,}0000924$.

Hieraus ist deutlich zu ersehen, dass die für den Gefrierpunkt und die Barometerhöhe von 28 Zoll berechneten Verhältnisse der spezifischen Schwere der Luft zur spezifischen Schwere des Quecksilbers $\frac{1}{q}$ für niedrige Gegenden grösser, dagegen auf hohen Bergen kleiner sind, folglich die Luft in tiefen Thälern von schwererer, auf Bergen aber von leichterer Art seyn müsse, als es aus dem blossen Verhältnisse der abnehmenden Barometerhöhen und Wärmegrade folgt.

§. 80.

Um hieraus die spezifische Schwere für jede Höhe zu bestimmen, wählen wir hierzu den allgemeinen algebraischen Ausdruck $\frac{A}{1 + m . x}$, welcher die Eigenschaft hat, dass für den untersten Standpunkt, wo die Höhe $x = 0$ ist, die spezifische Schwere $= A$ wird, für alle übrigen Höhen über diesen Standpunkt aber die spezifischen Schweren immer kleiner werden, und für eine unendlich grosse Höhe, wo nämlich gar keine Luft mehr vorhanden ist, das spezifische Gewicht derselben $= 0$ werde; womit unsere Begriffe von der Atmosphäre vollkommen übereinstimmen. Es wird sich also nur um die Bestimmung der Grössen A und m handeln.

Ohne sich hierüber in weitläufige Rechnungen einzulassen, wollen wir diese Werthe so angeben, wie sie den angeführten Beobachtungen am meisten entsprechend gefunden werden, nämlich $A = 0{,}0000983$, und $m = \frac{1}{30000}$; demnach gibt die Gleichung $\frac{1}{q} = \frac{0{,}983}{10000 + \frac{1}{3} x}$ für die genannten Orte folgende Werthe:

	x	$\frac{1}{q}$
An der Oberfläche des Südmeeres	0	0,0000983
Auf der Höhe der Stadt *Quito*	1462	0,0000937
Auf dem Berge *Pichincha*	2432	0,0000909

Daraus folgt für die mittlere spezifische Schwere zwischen dem Meere und der Stadt Quito $\frac{1}{q} = 0{,}0000960$, vom Meere bis *Pichincha* $\frac{1}{q} = 0{,}0000946$, und von *Quito* bis *Pichincha* $\frac{1}{q} = 0{,}0000923$. Die Differenzen dieser Zahlen sind von den obigen durch die barometrischen Beobachtungen gefundenen 0,0000961, 0,0000942, und 0,0000924 bloss in der letzten Dezimalstelle $+1, -4, +1$ verschieden, welche aber an und für sich so unbedeutend sind, dass wir das Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber für das Gebirge der *Cordilleren* allgemein $\frac{1}{q} = \frac{0{,}983}{10000 + \frac{1}{3} x}$ annehmen können.

§. 81.

Den genauesten Aufschluss über diesen Gegenstand geben uns aber die Beobachtungen, welche Herr *de Luc* in den Jahren 1756 bis 1760 mit der grössten Genauigkeit am Berge *Saleve* bei Genf, am Leuchtthurme zu Genua, am Glockenthurm der Johan-

neskirche zu Turin, am Thurme der Peterskirche in Genf und zu *Superguc*, einer Kirche auf dem Gipfel des Berges bei Turin angestellt und in seinem Werke: „Untersuchungen über die Atmosphäre und die zur Abmessung ihrer Veränderungen dienlichen Werkzeuge, 2[ter] Theil" umständlich beschrieben hat.

Zur bessern Uibersicht dieser Beobachtungen bemerkt *de Luc*, dass die Nordseite des Berges *Saleve* der Stadt Genf gegen Osten liegt, daselbst eine Stunde weit von ihr entfernt ist, und sich von Nordost nach Südwest erstreckt. Die fünfzehn Standpunkte, welche er für seine Beobachtungen gewählt hat, liegen in gerader Linie innerhalb eines Raumes von beiläufig 2 Stunden, die 11 ersten nämlich liegen an dem gähen Abhange des Berges und die horizontale Länge des Raumes den ihre Entfernungen einnehmen, beträgt kaum $\frac{1}{4}$ Stunde; von dem 11[ten] bis zum 15[ten] der sich auf dem höchsten Gipfel des Berges befindet, erhebt sich der Berg unmerklich, wesshalb man genöthiget war, die Entfernungen grösser anzunehmen. Uiber die Lage eines jeden Punktes hat *de Luc* noch umständlichere Beschreibungen angegeben, und hierüber bemerkt, dass diese Lage einen Einfluss auf die Beobachtung haben könne, und bei den ersten drey Standorten auch gewiss hat. Das Barometer am untersten Standpunkte, wo sein Vater die Barometer- und Thermometerhöhen von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ Stunde angemerkt hat, war in dem untersten Stockwerke eines Wohngebäudes, von welchem der erste Standpunkt um $\frac{3}{4}$ Stunden entfernt war. Die Höhe dieses Standortes über dem mittelländischen Meere wird von *de Luc* mit 1270 Pariser Fuss angegeben. Das Barometer war daselbst an der Mauer festgemacht, und ist durch die ganze Zeit der Beobachtungen unverändert an derselben Stelle geblieben. Das Thermometer, an welchem die Temperatur oder der Wärmegrad der Luft beobachtet wurde, war ausser dem Hause auf einer kleinen Anhöhe in freyer Luft aufgehängt. Die Thermometerkugeln hatten nur $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser, und waren den Durchmessern der Barometerröhre beinahe gleich gemacht, damit beide sowohl Barometer als Thermometer mit gleicher Geschwindigkeit die Temperatur der Luft annehmen. Die Barometer waren mit Vorsicht ausgekocht und vollkommen übereinstimmend. Da es zu weitläuftig wäre, alle übrigen Vorsichten, welche bei diesen Beobachtungen angewendet wurden, umständlich zu beschreiben, so wollen wir nur noch über die folgende Tabelle, welche einen gedrängten Auszug dieser Beobachtungen enthält, folgendes bemerken.

In der ersten Kolumne sind die Standpunkte nach den römischen Zahlen I, II, III, ... angeführt. Die zweite Kolumne enthält die Höhen der Standpunkte in par. Fussmass, welche sowohl trigonometrisch gemessen, als auch noch mit einem eigenen Instrumente nivellirt worden sind. In der dritten Kolumne bezeichnet der Buchstabe α, dass die in denselben horizontalen Reihe angeführten Beobachtungen vor Sonnenaufgang gemacht sind, welche *de Luc* wegen der grossen Gleichförmigkeit der atmosphärischen Temperatur von den übrigen eigens unterschieden hat. Der Buchstabe β zeigt an, dass die Beobachtungen bei einer niedrigern Temperatur als $16\frac{3}{4}$ Grade *Reaum.* und der Buchstabe γ, dass die betreffenden Beobachtungen bei einer höhern Temperatur der freyen Luft als $16\frac{3}{4}$ Grad gemacht worden sind. In der vierten Kolumne ist die Zahl der Beobachtungen angeführt, welche auf jedem Standpunkte zusammengenommen, und daraus die mittlere Barometerhöhe berechnet wurde. In der fünften und sechsten

Kolumne befinden sich die auf den Gefrierpunkt reduzirten Barometerhöhen und zwar in Pariser Linien. In der siebenten Kolumne sind die Unterschiede der beiden vorangehenden Barometerhöhen angegeben. Die achte Kolumne enthält die mittlere Temperatur der freien Luft zwischen beiden Standpunkten. In der neunten Kolumne ist das aus den vorstehenden Barometer- und Thermometerbeobachtungen berechnete Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber angeführt. Weil *de Luc* die Höhen in par. Fussmass angegeben hat, so gründet sich diese Rechnung auf die Gleichung $\frac{1}{q} = \frac{28}{12 . u}\left(1 + \frac{3t}{640}\right) 2{,}302585 . \log \frac{H}{h}$. Die zehnte Kolumne enthält die mittlere Höhe der beiden Standpunkte über dem Mittelländischen Meere nach *Toisen*, und in der eilften Kolumne ist zur Vergleichung noch das Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft nach der Seite 112 aufgestellten Gleichung $\frac{1}{q} = \frac{0{,}983}{10000 + \frac{1}{2}x}$ angegeben, worüber die umständlichere Anweisung folgen wird.

Gleichzeitige Beobachtungen der Barometerhöhen von Hrn. *de Luc*, Vater und Sohn.

Nr. der Standpunkte.	Gemessene Höhe zwischen beiden Barometern in par. Fuss.	Umstände der Beobachtung.	Zahl der Beobachtungen.	Reduzirte Barometerhöhen.		Differenz in Linien.	Mittlere Temperatur der freien Luft in Reaum. Graden.	Verhältniss des Gewichtes der Luft zum Quecksilber nach den Beobachtungen $\frac{1}{q}$	Mittlere Höhe der beiden Standorte über dem mittelländischen Meere in *Toisen*	Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber nach der Rechnung. $\frac{1}{q}$
				am untern Standpunkte in Linien. H	am obern Standpunkte in Linien. h					
Beobachtungen auf dem Berge *Saleve*.										
I	216,2	α	3	326,144	323,231	2,913	2,23	0,0000973	229,7	0,0000972
		β	3	324,606	321,706	2,900	13,34	„ 1029		
		γ	4	323,594	320,856	2,738	21,61	„ 1010		
II	428,8	α	3	325,606	320,063	5,543	7,5	0,0000967	247,4	0,0000971
		β	4	324,606	318,900	5,706	5,7	„ 991		
		γ	6	323,394	318,075	5,319	20,3	„ 988		
III	586,0	α	3	325,606	318,081	7,525	7,7	0,0000965	260,5	0,0000970
		β	7	324,725	317,144	7,581	9,0	„ 980		
		γ	6	323,388	316,231	7,157	19,8	„ 974		
IV	728,7	α	3	325,606	316,331	9,275	7,45	0,0000958	272,4	0,0000970
		β	13	324,781	315,513	9,268	10,76	„ 974		
		γ	8	323,206	314,338	8,868	18,82	„ 970		
V	917,0	α	2	325,000	313,375	11,625	6,05	0,0000953	288,1	0,0000969
		β	15	324,500	312,875	11,625	10,10	„ 972		
		γ	9	323.481	312,363	11,118	18,87	„ 969		
VI	1218,7	β	13	324,819	309,425	15,394	9,56	0,0000371	313,2	0,0000968
		γ	14	323,756	309,163	14,593	20,05	„ 966		
VII	1420,0	α	12	322,325	304,763	17,562	7,75	0,0000954	330,0	0,0000967
		β	13	325,150	307,275	17,875	8,8	„ 967		
		γ	10	323,606	306,688	16,918	19,85	„ 964		
VIII	1800,5	β	9	325,781	303,188	22,593	8,3	0,0000963	361,7	0,0000966
		γ	8	323,631	302,325	21,306	19,00	„ 964		
IX	1968,8	β	9	325,488	300,938	24,550	8,27	0,0000966	375,7	0,0000965
		γ	8	323,944	300,775	23,169	19,27	„ 959		
X	2211,0	β	8	325,944	298,313	27,631	7,7	0,0000969	395,9	0,0000964
		γ	9	323,756	297,738	26,018	19,44	„ 965		
XI	2333,0	β	13	324,806	296,425	28,381	9,95	0,0000957	406,1	0,0000963
		γ	4	324,763	297,281	27,482	19,27	„ 964		

Nr. der Standpunkte.	Gemessene Höhe zwischen beiden Barometern in pariser Fuss.	Umstände der Beobachtung.	Zahl der Beobachtungen.	Reduzirte Barometerhöhe am untern Standpunkte in Linien H	Reduzirte Barometerhöhe am obern Standpunkte in Linien h	Differenz in Linien.	Mittlere Temperatur der freien Luft in Reaum. Grad.	Verhältniss des Gewichtes der Luft zum Quecksilber nach den Beobachtungen $\frac{1}{q}$	Mittlere Höhe der beiden Standorte über dem mittelländischen Meere in *Toisen.*	Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber nach der Rechnung $\frac{1}{q}$
Fortsetzung der Beobachtungen am Berge *Salève.*										
XII	2582,3	α	1	323,688	292,938	30,750	11,6	0,0000951	426,9	0,0000962
		β	8	325,563	294,356	31,207	13,1	„ 966		
		γ	8	323,725	293,650	30,075	20,4	„ 965		
XIII	2700,0	β	5	325,013	292,438	32,575	13,33	0,0000970	436,7	0,0000962
		γ	10	323,800	292,500	31,300	21,03	„ 965		
XIV	2742,4	α	2	326,281	293,125	33,156	8,2	0,0000947	440,2	0,0000962
		β	6	325,781	292,706	33,075	13,1	„ 967		
		γ	4	324,094	292,094	32,000	19,03	„ 963		
XV	2926,7	α	5	325,500	290,075	35,425	7,72	0,0000952	455,6	0,0000961
		β	6	325,081	289,683	35,398	11,15	„ 967		
		γ	5	324,025	290,075	33,950	19,75	„ 964		
Beobachtungen am Leuchtthurme zu *Genua.* Der untere Standpunkt befindet sich 20 *Toisen* über dem Meere.										
—	222,9	—	5	337,734	334,953	2,731	22,34	0,0000956	38,6	0,0000981
Am Thurme der Peterskirche in *Genf* und in der Wohnung des Herrn *de Luc* (*Rue basse*). Der untere Standpunkt befindet sich 186 *Toisen* über dem mittelländischen Meere.										
—	209,5	—	87	323,900	321,200	2,700	9,44	0,0000974	203,5	0,0000973
Zu *Supergue* einer Kirche auf dem Gipfel des Berges bei *Turin.* Der untere Standpunkt am Grunde des akademischen Gebäudes 101 *Toisen* über dem Meere.										
—	156,2	—	2	312,313	310,438	1,875	16,50	0,0000969	114,0	0,0000977
In Böhmen, zwischen Marschendorf und der Schneekoppe im Riesengebirge von *Franz* Ritter von *Gerstner*, Vater*)										
—	3182,0	—	5	324,960	287,930	36,98	15	0,0000948	580	0,0000955
Am *Col de géant* von *Saussure* und zu *Chamouni* von *Leveque.*										
—	7338,0	—	—	300,630	227,355	73,25	10,46	0,0000932	1135	0,0000930
Auf dem *Pic de Bigore* von *Ramond* und in *Tarbes* von *Dangos.*										
—	8044,0	—	—	324,948	237,732	87,216	9,25	0.0000946	834	0,0000944

*) Siehe Beobachtungen auf Reisen im Riesengebirge von *Johann Jirasek*, *Abbé Gruber*, *Thadäus Haenke* und *Franz Gerstner*; veranstaltet und herausgegeben von der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften. Dresden 1791 in der Walther'schen Hofbuchhandlung. (IV. Abtheilung.)

§. 82.

Uiber die Irregularitäten, welche sich in diesen obgleich mit der grössten Genauigkeit ausgeführten Höhenmessungen und Barometerbeobachtungen noch vorfinden, führt Herr *de Luc* mehrere Umstände an, welche zwar zur Erklärung derselben dienen, jedoch keinem Gesetze unterliegen, demnach nur durch die Zusammennehmung mehrerer Beobachtungen in einer und derselben Stelle ausgeglichen werden können. Ungeachtet dieser kleinen Anomalien geht doch aus der Ansicht dieser Beobachtungen deutlich hervor, dass die spezifische Schwere der atmosphärischen Luft in höheren Gegenden über dem Meere merklich kleiner ist, als es nach Verhältniss der abnehmenden Barometerhöhen und Wärmegraden seyn sollte. Da hiermit auch die Beobachtungen, welche *Bouguer* und *de la Condamine* auf den *Cordilleren* in Amerika unter einem andern Himmelsstriche angestellt haben, vollkommen übereinstimmen, so wollen wir nun noch aus diesen neuern Beobachtungen das Gesetz aufsuchen, nach welchem die spezifische Schwere der Luft nach Maassgabe der Höhe in Europa zu bestimmen seyn dürfte. Zu dieser Absicht haben wir den Verhältnissen der spezifischen Schwere der Luft, so wie sich selbe aus den Barometer- und Thermometerbeobachtungen für jede gemessene Höhe ergeben haben, noch in der 10ten Kolumne die mittlere Höhe der beiden Standorte über dem Meere in *Toisen*, welche nämlich der halben Summe dieser beiden Höhen gleich ist, zu der Absicht beigesetzt, um sie in der Gleichung $\frac{1}{q} = \frac{A}{10000 + m.x}$ an die Stelle von x setzen zu können. Da wir nämlich vorläufig annehmen müssen, dass die spezifische Schwere der Luft vom Meere aufwärts so wie die Wärme gleichförmig abnimmt, so ergibt sich von selbst, dass auf der Mitte der beiden Standorte diejenige spezifische Schwere angetroffen werde, welche dem Gewichte der Luftsäule von unten bis zum obern Standorte entspricht, und den grösseren Druck der Luft auf das untere Barometer bewirkt. Zur Vermeidung der Weitläufigkeit, welche die Berechnung einer jeden einzelnen Beobachtung nach sich ziehen würde, haben wir zuerst für niedrigere Höhen die Beobachtungen auf den 15 Standorten des Berges *Saleve* mit jenen am Leuchtthurme zu Genua und auf dem Thurme der Peterskirche zu *Genf* und *Supergue* bei *Turin* zusammengenommen, und für alle diese Beobachtungen die mittlere Höhe der beiden Standpunkte über dem Meere $x = 311$ *Toisen* und das Verhältniss der spezifischen Schwere $\frac{1}{q} = 0{,}0000970$ gefunden; daraus ergibt sich $\frac{A}{10000 + 311 . m} = 0{,}0000970$. Auf gleiche Art haben wir zur Bestimmung einer Gleichung für grössere Höhen über dem Meere die Beobachtungen auf den fünf letzten Standorten des Berges *Saleve* nämlich Nr. XI, XII, XIII, XIV, und XV mit den Beobachtungen auf der Schneekoppe, auf dem *Col de géant* und auf dem *Pic de Bigore* zusammengenommen und aus der Summe dieser Zahlen die mittlere Höhe $x = 589$ *Toisen* und das mittlere Verhältniss $\frac{1}{q} = 0{,}0000958$ gefunden; daraus ergibt sich die Gleichung $\frac{A}{10000 + 589 . m} = 0{,}0000958$. Aus diesen beiden Gleichungen folgt $m = \frac{1}{2}$ und $A = 0{,}983$. Demnach ist die allgemeine Gleichung für

das Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber $\frac{1}{q} = \frac{0{,}983}{10000 + \frac{1}{2} x}$.

Diese Gleichung zeigt uns 1tens, dass die spezifische Schwere der Luft an der Oberfläche des mittelländischen Meeres eben so gross sey, als sie nach der Messung des *Bouguer* an der Oberfläche des Südmeeres gefunden worden. 2tens. Da statt der Grösse $\frac{1}{3}$ x in Amerika, bei uns in Europa und zwar in der Nähe der Schweitzer-Gebirge $\frac{1}{2}$ x gefunden wurde, so sehen wir, dass die spezifische Schwere der Luft in der Höhe der *Cordilleren* um etwas weniger abnehmen müsse, als in Europa.

§. 83.

Es wird nicht überflüssig seyn zu bemerken, dass diese Abnahme der spezifischen Schwere der Luft auf Gebirgen nicht der Abnahme der allgemeinen Schwere, welche sich nach dem verkehrten Verhältniss der Quadrate der Entfernungen vom Mittelpunkte der Erde ändert, beigemessen werden könne; denn wenn wir den mittleren Halbmesser der Erde nach den Messungen der französischen Gelehrten $r = 3270000$ *Toisen* setzen, so ist $\left(\frac{r}{r+x}\right)^2 = 1 - \frac{2x}{r} = 1 - \frac{x}{1635000}$; dagegen haben wir das Verhältniss der spezifischen Schwere $\frac{1}{q} = \frac{0{,}0000983}{1 + \frac{x}{20000}} = 0{,}0000983\left(1 - \frac{x}{20000}\right)$, woraus ersichtlich ist, dass die Abnahme der Schwere $= \frac{x}{1635000}$ viel kleiner ist als $\frac{x}{20000}$, welchem die Abnahme der spezifischen Schwere der Luft proporzional ist.

§. 84.

Wir wollen nun die Anwendung dieser Abhandlung über die spezifische Schwere der Luft bei den Höhenmessungen durch das Barometer zeigen. Oben wurde allgemein gefunden u in *Toisen* $= \frac{28}{72} \cdot \frac{q}{1} \cdot 2{,}3025851 \left(1 + \frac{3t}{640}\right) \log \frac{H}{h}$, wo nämlich t die mittlere Temperatur der Athmosphäre zwischen beiden Standpunkten oder $\frac{T + T'}{2}$ vorstellt. Setzen wir nun an die Stelle des $\frac{q}{1}$ den gefundenen Werth $\frac{10000}{0{,}983}\left(1 + \frac{x}{20000}\right)$, so ist die Höhe in *Toisen*

$u = \frac{28 \cdot 2{,}3025851}{72 \cdot 0{,}983} \cdot 10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left(1 + \frac{3t}{640}\right)\left(1 + \frac{x}{20000}\right)$. Um diese Gleichung abzukürzen, wollen wir bemerken, dass die Zahl $\frac{28 \cdot 2{,}3025851}{72 \cdot 0{,}983} = 0{,}910936 = (1 - 0{,}089064)$ ist. Wir haben demnach die allgemeine Gleichung, $u = 10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left(1 + \frac{3t}{640}\right)(1 - 0{,}089064)\left(1 + \frac{\frac{1}{2}x}{10000}\right)$. Wir können aber an die Stelle der Zahl 0,089064 den gleichbedeutenden Bruch $\frac{3}{640} \cdot 19$ setzen, und da wir auch für den Fall, wenn die 2ten Glieder der letzten 3 Faktoren sehr kleine Grössen sind, an die Stelle ihres Produktes die Zahl $1 + \frac{3t}{640} - \frac{3 \cdot 19}{640} + \frac{\frac{1}{2}x}{10000}$ setzen können; so erhält man die zu messende Höhe in *Toisen*

$a = 10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left\{1 + \frac{3}{640}(t - 19) + \frac{\frac{1}{2}x}{10000}\right\}$. An der Oberfläche des Meeres ist $x = 0$,

also $u = 10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left\{1 + \frac{t-19}{213^1/_3}\right\}$. Daraus sehen wir, dass in der Nähe der Oberfläche des Meeres die zu messende Höhe in pariser *Toisen* $= 10000 \log \frac{H}{h}$ ist, wenn die mittlere Wärme $t = 19$ Grad beträgt; ist aber die Wärme grösser oder kleiner als 19 Grad, so ist zu der berechneten Höhe $10000 \log \frac{H}{h}$ noch $10000 \log \frac{H}{h}\left(\frac{t-19}{213^1/_3}\right)$ hinzuzusetzen. Weil aber diese Gleichung nur an der Oberfläche des Meeres ihre Richtigkeit hat, so können wir auf gleiche Art statt $\frac{^1/_2 x}{10000}$ die Grösse $\frac{3}{640} \cdot \frac{32\,x}{3000}$ setzen; dadurch erhalten wir allgemein $u = 10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left\{1 + \frac{3}{640}(t - z)\right\}$ wo nämlich z die Grösse $19 - \frac{32\,x}{3000}$ vorstellt. Es lässt sich nun für z sehr leicht eine Tafel berechnen, in welcher die Grösse dieser Zahl nach Verhältniss der Höhe über dem Meere x angegeben ist.

Bevor wir jedoch diese Rechnung hierher setzen, wollen wir noch vorläufig den Fall betrachten, wenn die zu messende Höhe nicht in pariser *Toisen*, sondern nach einem anderen Masse z. B. in N. Oe. Klaftern bestimmt werden soll. Die Länge der pariser *Toise* verhält sich wie bekannt zur Wiener Klafter wie $144 : 140{,}127$; es wird demnach allgemein die Höhe in N. Oe. Klaftern $= \left\{\frac{144{,}000}{140{,}127} \cdot \frac{28 \,.\, 2{,}3025851}{72 \,.\, 0{,}933}\right\} 10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left(1 + \frac{3\,t}{640}\right)\left(1 + \frac{^1/_2 x}{10000}\right)$. Die vorausgehende zwischen den Klammern enthaltene Zahl ist nach einer ähnlichen Reduktion $= 1 - 0{,}063886 = 1 - \frac{3}{640} \,.\, 13{,}63$. Wird nun diess in die Gleichung gesetzt, so erhalten wir die Höhe in N. Oe. Klaftern $= 10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left\{1 + \frac{3}{640}\left(t - 13{,}63 + \frac{32\,x}{3000}\right)\right\}$. Diese Gleichung ist von der obigen für par. *Toisen* nur in der Grösse 13,63 statt dem vorigen 19 verschieden. Wenn wir nun abermals $13{,}63 - \frac{32\,x}{3000} = z$ setzen, so erhält die Gleichung dieselbe Form wie oben.

Mittlere Höhe über dem Meere x in *Toisen* oder in N. Oe. Klaftern.	z für pariser *Toisen*.	z für N. Oe. Klafter.
0	19	13,6
100	17,9	12,6
200	16,9	11,5
300	15,8	10,4
400	14,7	9,4
500	13,7	8,3
600	12,6	7,2
700	11,5	6,2
800	10,5	5,1
900	9,4	4,0
1000	8,3	3,0
1100	7,3	1,9
1200	6,2	0.8
1300	5,1	—0,2
1400	4,1	—1,3
1500	3.0	—2.4

Um diese Rechnung für jeden besondern Fall zu ersparen, haben wir nach den beiden letzten angeführten Gleichungen die Zahl z sowohl für das pariser als auch für das N. Oe. Mass nach den verschiedenen Höhen über dem Meere berechnet, wie es die nebenstehende Tabelle zeigt.

Man sieht hieraus, dass mit der Anwendung dieser Tabelle die Höhen der Orte aus Barometerbeobachtungen eben so leicht in par. *Toisen* oder N. Oe. Klaftern und verhältnissmässig in einem jeden andern Masse durch eine eben so einfache Rechnung bestimmt werden können, als dieses nach der bekannten Formel des *de Luc, Trembley*, u. a. der Fall ist. Wir sehen aber auch, dass die von der Temperatur t der Luft abzuziehenden Wärmegrade sowohl nach Verhältniss der Längenmasse als auch nach Verhältniss der mittlern Höhe der beiden Standpunkte über dem Meere verschieden angenommen werden müssen, demnach für ver-

schiedene Orte der Erde keine beständigen Zahlen seyn können. Auch erhellet hieraus der Grund, warum nach den Beobachtungen des *Bouguer* für die Höhenmessungen in Europa nicht dieselbe Gleichung wie in der Nähe des Aequators in Amerika angewendet werden konnte. Auch sieht man hieraus, warum die Gleichungen, die man durch Messungen grosser Höhen gefunden hat, nicht auf gleiche Art bei kleineren Höhen mit der Erfahrung übereinstimmen konnten, und warum in dieser Hinsicht die Formel des *de Luc* mit jener des *Trembley* nicht übereinstimmt, weil nämlich der erstere seine Formel aus kleineren Höhen, der letztere aber aus grösseren Höhen abgeleitet hat.

§. 85.

Es wird nicht überflüssig seyn, einige Beispiele hierüber anzuführen, um sowohl die Art, wie die Höhen der Orte aus Barometerbeobachtungen zu berechnen sind, als auch die Uibereinstimmung unserer Rechnungsformeln mit der Erfahrung zu zeigen:

1stes Beispiel. Herr *de Luc* hat mit seinem Bruder am 22ten und 23ten Juni 1757 die Höhe des Leuchtthurmes zu Genua 223 Fuss gemessen, und dann aus 5 Beobachtungen, die zu gleicher Zeit am Fusse dieses Leuchtthurmes und in dem oberen Glaskasten angestellt wurden, die mit Rücksicht auf die Wärme verbesserten Barometerhöhen am Fusse dieses Leuchtthurmes $H = 337\frac{47}{64} = 337{,}734$ und in dem oberen Glaskasten $h = 334\frac{61}{64} = 334{,}953$ pariser Linien und die mittlere Temperatur der Luft nach seinem Thermometer $+13°$ oder nach der *Reaum.* Skale $+22{,}34°$ gefunden.

Diess gibt den $\log\frac{H}{h} = \log 337{,}734 - \log 334{,}953 = 2{,}5285747 - 2{,}5249839 = 0{,}0035908$. Die Höhe des unteren Standpunktes war 20 *Toisen* über dem Meere, und die Höhe vom unteren Standpunkte bis zum oberen beträgt nahe $10000 \log\frac{H}{h} = 35{,}908$ *Toisen.* Wird hievon die Hälfte oder 18 *Toisen* zur Höhe des unteren Standpunktes über dem Meere addirt, so ergibt sich die mittlere Höhe der beiden Standpunkte über dem Meere $x = 20 + 18 = 38$ *Toisen.* Diese Höhe liegt in der Tabelle §. 84 zwischen 0 und 100 *Toisen,* denen für die Höhenmessung in *Toisen* die Zahlen 19 und 17,9 beigesetzt sind; wir haben also $100 : 19 - 17{,}9 = 38 : 0{,}42$; demnach ist die Zahl $z = 19 - 0{,}42 = 18{,}58$; mithin $1 + \frac{3}{640}(t - z) = 1 + \frac{3}{640}(22{,}34 - 18{,}58) = 1 + \frac{3}{640} \cdot 3{,}76$. Wird nun die obige Zahl $10000 \log\frac{H}{h}$ oder $35{,}91$ mit $\frac{3}{640} \cdot 3{,}76$ multiplizirt, so erhalten wir 0,63, welches zu 35,91 addirt die ganze Höhe 36,54 *Toisen* oder 219,2 par. Fuss gibt; die gemessene Höhe war 223 Fuss; daher beträgt der Fehler nur 3,8 Fuss oder $\frac{1}{59}$ der ganzen Höhe.

2tes Beispiel. Herr *Ramond* hat auf dem *Pic de Bigore* die verbesserte Barometerhöhe $h = 237{,}732$ par. Linien gefunden, zu gleicher Zeit fand Herr *Dangos* in *Tarbes* $H = 324{,}948$; die mittlere Temperatur zwischen beiden Standpunkten war $t = 9{,}25$ *Reaum.* Grade.

Diese Beobachtung gibt $10000 \log\frac{H}{h} = 1357{,}26$. Die Höhe von *Tarbes* über dem Meere ist von den französischen Gelehrten mit 164 *Toisen* angegeben. Hierzu die Hälfte

von 10000 $\log \frac{H}{h}$ oder 679 gibt die mittlere Höhe der beiden Standpunkte über dem Meere $x = 843$. Für diese Höhe ist z vermöge der Tabelle $= 10{,}03$, mithin $\frac{3}{640}(t - z) = -0{,}78 \cdot \frac{3}{640}$. Wird nun diese Zahl mit $1357{,}26$ multiplizirt, so gibt diess $4{,}96$ *Toisen*, welche von der obigen Höhe abgezogen die korrigirte Höhe mit $1357{,}26 - 5{,}02 = 1352{,}3$ *Toisen* gibt. Die gemessene Höhe war $1340{,}7$ *Toisen*, folglich wäre der Fehler $11{,}6$ *Toisen*.

Eine genauer übereinstimmende Rechnung mit der Messung ergibt sich, wenn die Faktoren $10000 \log \frac{H}{h} \cdot \left(1 + \frac{3t}{640}\right)(1 - 0{,}089064)\left(1 + \frac{\frac{1}{2}x}{10000}\right)$, jeder für sich besonders berechnet und alle mit einander multiplizirt werden. Wir erhalten nämlich den ersten Faktor $10000 \log \frac{H}{h} = 1357{,}26$; den zweiten Faktor $1 + \frac{3\,t}{640} = 1 + \frac{3 \,.\, 9{,}25}{640} = 1{,}04336$. Der dritte Faktor ist für den Fall, wenn die Höhen in par. *Toisen* gemessen werden sollen $1 - 0{,}089064 = 0{,}910936$ wie schon oben gezeigt wurde, und der vierte Faktor ist $1 + \frac{\frac{1}{2}x}{10000} = 1 + \frac{\frac{1}{2} \,.\, 842}{10000} = 1{,}0421$. Das Produkt dieser vier Faktoren $1357{,}26 \,.\, 1{,}04336 \,.\, 0{,}910935 \,.\, 1{,}0421 = 1344{,}3$ *Toisen* ist von der gemessenen Höhe nur um $3{,}6$ *Toisen* oder um $\frac{1}{372}$ der ganzen Höhe verschieden.

§. 86.

Wir kommen nun zur genauen Bestimmung des Gewichtes von einem Kubikfuss Luft für jeden Ort der Erdoberfläche. Hierzu können wir uns der, aus den Barometerbeobachtungen gefolgerten Gleichung für das Verhältniss der Schwere der Luft zum Quecksilber $\frac{1}{q} = \frac{0{,}983}{10000 + \frac{1}{2}x}$ bedienen. Aus dieser Gleichung folgt das Gewicht eines Kubikfusses Luft auf der Höhe x über dem Meere in *Toisen* bei der Barometerhöhe von 28 par. Zoll und der Temperatur des schmelzenden Schnees $l = \frac{0{,}983}{10000 + \frac{1}{2}x} \cdot q$, in welcher für q das Gewicht eines Kubikfusses Quecksilber bei derselben Temperatur des schmelzenden Schnees zu setzen ist.

Da bisher keine unmittelbare Abwägung eines Kubikfusses Quecksilber von derselben Reinheit, wie es in den Barometern gebraucht wird und bei der Temperatur des schmelzenden Schnees bekannt ist, so müssen wir uns hierzu der spezifischen Schwere oder der verhältnissmässigen Gewichte des Wassers und des Quecksilbers bedienen. Weil aber auch das Verhältniss der spezifischen Schwere des Quecksilbers zum Wasser nicht unmittelbar bei 0 Grad des Thermometers bestimmt werden kann, indem das Wasser bei dieser Temperatur seinen Zustand ändert, und entweder aus dem festen Zustande des Eises in den flüssigen oder aus dem flüssigen Zustande in den festen des Eises übertritt, und hierdurch seine spezifische Schwere von $1{,}0$ auf $0{,}9$ ändert, demnach in diesem Zustande keinen festen Punkt zur Vergleichung darbietet, so hat man die spezifische Schwere aller Körper bei Temperaturen über 0 bestimmt und hierzu gewöhnlich die mittlere Temperatur von 14 Grad des *Reaum.* Thermometers

angegeben. In dieser Hinsicht können wir auch das Gewicht des Quecksilbers nur aus Vergleichungen bei demselben Wärmegrade, bei welchem seine spezifische Schwere bestimmt wurde, berechnen. Zu dieser Absicht sey das Gewicht eines Kubikfusses Quecksilber bei 0 Grad $= q$. Da das Quecksilber von der Wärme ausgedehnt wird, so wollen wir die Vergrösserung des kubischen Inhaltes von einem Kubikfuss von 0 bis 14 Grad *Reaum.* $= \gamma$ setzen, demnach wird das Gewicht eines Kubikfusses Quecksilber bei 14 Grad *Reaumur* $= \frac{q}{1+\gamma}$ seyn. Das Gewicht eines N. Oe. Kubikfusses Wasser bei 14 Grad Temperatur ist nach Seite 93 $= 56{,}3024$ N. Oe. Pfund; demnach verhält sich bei der Temperatur von 14 Grad das Gewicht des Quecksilbers zum Gewichte des Wassers wie $\frac{q}{1+\gamma} : 56{,}3024$. Die spezifische Schwere des Quecksilbers bei dem Gefrierpunkte ist nach Seite 43 $= 13{,}598$, folglich wird aus demselben Grunde die spezifische Schwere bei 14 Grad $= \frac{13{,}598}{1+\gamma}$ seyn. Weil aber die Gewichte der Körper bei gleichem Volumen den spezifischen Schweren proporzional sind, so haben wir $\frac{q}{1+\gamma} : 56{,}3024 = \frac{13{,}598}{1+\gamma} : 1$; daraus folgt $q = 13{,}598 \,.\, 56{,}3024 = 765{,}6000$ N. Oe. Pfunde.

Hieraus folgt das Gewicht eines Kubikfusses Luft an der Oberfläche des Meeres, wo $x = 0$ ist, bei 28 par. Zoll Barometerhöhe und bei 0 Grad Wärme $l = 0{,}0000983 \,.\, 765{,}6 = 0{,}0752585$, beinahe $^3/_{40}$ N. Oe. Pfund, oder genauer $2{,}40827$ N. Oe. Loth. Für andere Höhen x über dem Meere und bei einem andern Barometerstande h und Thermometerstande t ist das Gewicht eines Kubikfusses Luft

$$= \frac{h \,.\, 0{,}0752585}{28\left(1+\frac{3\,.\,t}{640}\right)\left(1+\frac{x}{20000}\right)} \text{ N. Oe. Pfund.}$$

B e i s p i e l. Die Höhe der Neustadt in Prag oder die Höhe des Zimmers der Prager Sternwarte über dem Meere ist beinahe $x = 100$ *Toisen*, die Wärme t sey $= 20°$ *Reaum.* und der Barometerstand $h = 27$ par. Zoll, so ist in diesem Falle das Gewicht eines Kubikfusses Luft $= \frac{27 \,.\, 0{,}0752585}{28\left(1+\frac{3\,.\,20}{640}\right)\left(1+\frac{100}{20000}\right)} = 0{,}06602$ N. Oe. Pfund $= 2{,}11264$ N. Oe. Loth.

§. 87.

Die angeführte Bestimmung des Gewichtes und der spezifischen Schwere der Luft betrifft eigentlich nur ihren mittleren Zustand, so wie sich derselbe aus den Seite 109 und 110 angeführten mehr als 400 zu verschiedenen Jahreszeiten und an mehreren Orten angestellten gleichzeitigen Beobachtungen und ihrer Vergleichung mit den gemessenen Höhen ergeben hat. Wenn aber gefragt wird, wie das Gewicht eines Kubikfusses Luft an irgend einem andern Orte zu bestimmen sey, so lässt sich diess aus der angeführten Rechnung nicht vollkommen genau ableiten. Die atmosphärische Luft ist kein einfacher Körper, sondern ist aus mehreren ungleichartigen Bestandtheilen, hauptsächlich aus Stickluft, Lebensluft (Oxygen oder Sauerstoff) und einem kleinen Antheil kohlensaurer Luft zusammengesetzt, dem noch Wasserdämpfe und andere zufällige Gasarten beigemischt sind,

und eine jede hievon ist durch ihre eigenthümliche spezifische Schwere von den übrigen verschieden. Man hat zwar mehrere Instrumente als *Eudiometer, Hygrometer*, u. a. m. angegeben, wodurch einzelne Bestandtheile der atmosphärischen Luft von den übrigen abgeschieden oder doch kennbar gemacht werden können; allein hieraus lässt sich über den Einfluss, den jeder Bestandtheil auf das eigenthümliche Gewicht der atmosphärischen Luft nimmt, kein bestimmter Schluss auf die an jedem Orte vorhandene spezifische Schwere der Luft ableiten.

Hierüber gibt uns allein das *Manometer* des *Otto* von *Guerike* einen vollkommen befriedigenden Aufschluss. Derselbe hatte nämlich an das Ende eines Wagebalkens A Fig. 14 eine grosse möglichst leichte hermetisch geschlossene gläserne Flasche und an das andere Ende B ein kleineres metallenes dichtes Gegengewicht angehängt und beide ins Gleichgewicht gebracht. Die Flasche stieg, wenn die Luft dichter, und sank, wenn sie dünner oder spezifisch leichter wurde; im ersten Falle musste nämlich die Flasche von ihrem absoluten Gewicht mehr verlieren und desswegen scheinbar leichter werden und im Gegentheile. Bei dieser Vorrichtung kommt es daher nur noch auf die Verfertigung einer hinlänglich empfindlichen Wage und auf ein Mittel an, wodurch man in Stand gesetzt wird, die kleinen Unterschiede, um welche das Gewicht der Flasche zu- oder abnimmt, genau zu erkennen. Fig. 14. Tab. 43.

Zur Verfertigung einer solchen Wage, haben wir bereits im I. Bande die Anleitung gegeben. Die Gewichtsunterschiede, welche die Flasche zeigt, lassen sich hier am leichtesten und verlässigsten durch die Verschiebung eines auf dem Wagebalken aufgelegten geringen Laufgewichtes p bestimmen. Fig. 14 bis Fig. 21 enthält die Darstellung eines solchen verbesserten *Manometers*, wie derselbe von meinem Vater angegeben und in der Seite 110 angeführten Abhandlung bei den Beobachtungen auf Reisen nach dem Riesengebirge im Jahre 1786 zuerst gebraucht und seither bedeutend verbessert wurde. Hiervon ist Fig. 14 die Seitenansicht und Fig. 15 der Grundriss; Fig. 16 bis Fig. 21 enthalten die *Details* im grösseren Masstabe. Das Bret CD steht einerseits auf dem Fusse E und anderseits auf 2 beweglichen Stellschrauben F und G, womit dasselbe so lange erhöht und erniedrigt wird, bis die zwei unter rechtem Winkel angebrachten Wasserwagen ab und cd einspielen. Der Träger HI steht senkrecht auf der Fläche des Bretes CD und trägt den Wagebalken BA, der in Spitzen auslauft und an den hölzernen Armen DK und CL durch das Zusammentreffen mit andern daselbst angebrachten Spitzen den horizontalen Stand des Wagebalkens anzeigt. Die wirkliche Grösse der Achse bei I, so wie selbe bei dem *Manometer* am technischen Institute zu Prag vorhanden ist, erscheint Fig. 16 in der Seitenansicht, Fig. 17 im Grundrisse von unten und Fig. 18 im Grundrisse von oben, dann ist Fig. 19 das Ende des Wagebalkens und Fig. 20 die Befestigung des metallenen Gewichtes bei B ebenfalls in natürlicher Grösse, endlich Fig. 21 das verschiebbare Gewichtchen gleichfalls in dieser Grösse dargestellt. Fig. 14 bis 21.

Dieses Gewichtchen ist ein dünner Blechstreifen, der den Wagebalken beiderseits umgreift und in der Mitte eine Erhöhung von Blech hat, um dasselbe mittelst eines umgebogenen Hackens hin und her schieben zu können. Das ganze Instrument muss in einen Glaskasten gebracht werden, wie es bei den feinen Probierwagen der Fall ist. Die Glastafeln müssen sich daher entweder in Scharnieren öffnen und schliessen, oder auch abnehmen lassen. Hierdurch wird eine vollkommene Ruhe der Luft hervorgebracht, und der

obgleich unbedeutende Einfluss der Wärme von Seite des Beobachters verhindert. Es versteht sich von selbst, dass vor einem jeden solchen Versuche die Glastafeln von beiden Seiten abgehoben werden müssen, um hiedurch der Luft vollkommen Zutritt zu gestatten. Da das Instrument auch von oben mit Glas bedeckt ist, so kann man auf den 2 beiderseitigen Glastafeln noch einen eingebogenen dünnen Blechstreifen auflegen, um hierauf den Draht, mittelst welchem das Laufgewichtchen verschoben wird, hin und her bewegen zu können.

Es sey K das Volumen der gläsernen Flasche in der Luft, welches durch hydrostatische Versuche oder auf andere Art gemessen werden kann, und k das Volumen des Gegengewichtes. Der Unterschied von beiden zeigt $K - k$ das Volumen der Luft an, welche durch ihre Verdichtung oder Verdünnung das Gleichgewicht der Flasche mit dem Gegengewichte ändert. Das Gewicht der Luft bei der Temperatur $t = 0$ und der Barometerhöhe $h = 28$ Zoll sey $= 1$, das Gewicht der Flasche im leeren Raume $= Q$, und ihr Volumen $= K$, mithin wird das Gewicht der von der Flasche verdrängten Luft $= K.1$ und ihr Gewicht in derselben Luft $= Q - K.1$ seyn. Wird die Flasche an den einen Arm des Wagebalkens gehängt und dagegen von der andern Seite zur Bewirkung des Gleichgewichtes an den gleichen Arm ein kleines Fläschchen mit darin eingeschlossenem Quecksilber oder Bleischröten u. dergl. angehängt, dessen Volumen $= k$ ist, so ist das Gewicht dieses Fläschchens in der Luft $= q - k.1$; wir haben also die Gleichung $q = Q - (K - k)1$. Wird nun die Atmosphäre aus was immer für einer Ursache leichter, so dass das Gewicht eines Kubikfusses nur λ wiegt, so wird das Gewicht der verdrängten Luft nur $(K - k)\lambda$ betragen, und weil in diesem Falle kein Gleichgewicht mehr statt findet, so wollen wir annehmen, dass dieses Gleichgewicht durch ein auf der Entfernung e aufgelegtes Laufgewicht p hergestellt werde. Diess gibt die Gleichung $q = Q - (K - k)\lambda - \frac{p.e}{a}$. Wird diese Gleichung von der vorigen $q = Q - (K - k)1$ abgezogen, so bleibt $(K - k)\lambda = (K - k)1 - \frac{p.e}{a}$. Daraus folgt

$$\lambda = 1 - \frac{p.e}{(K-k)a} = 1\left(1 - \frac{p}{(K-k)1} \cdot \frac{e}{a}\right) \text{ folglich } 1 - \lambda = \frac{p}{(K-k)} \cdot \frac{e}{a}.$$

Weil p, $K - k$ und a beständige Grössen sind, so folgt, dass die Aenderung des Gewichtes der Luft hauptsächlich aus der Entfernung e erkannt werden muss; es wird also nothwendig seyn, p nicht zu gross anzunehmen, weil dadurch das e oder der Masstab zur Kenntniss des Gewichtes der Luft zu klein werden würde. Da aber e nur höchstens $= a$ werden kann, so haben wir für diesen Fall $p = (1 - \lambda)(K - k)$. Wir wollen nun annehmen, die Wärme der Athmosphäre sey von 0 auf 26⅔ Grade gestiegen und das Barometer von 28 Zoll auf 27 Zoll herabgefallen, so wird in diesem Falle

$$\lambda = \frac{27}{28} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot 26\frac{2}{3}}{640}} = \frac{27}{28} \cdot \frac{8}{9} \cdot 1 = \frac{6.1}{7}, \text{ folglich } 1 - \lambda = \frac{1}{7} \cdot 1,$$

oder die Veränderung des Gewichtes von einem Kubikfusse Luft beträgt nur den 7ten Theil von 1, und da in diesem Falle $p = \frac{1}{7} \cdot 1 (K - k)$ wird, so sehen wir, dass man nur nöthig habe, dem Laufgewichte p den 7ten Theil des Gewichtes der von der Flasche verdrängten Luft bei der Wärme $t = 0$ und dem Barometerstand $h = 28$ Zoll zu geben. Um noch grössere Veränderungen des Ge-

wichtes eines Kubikfusses Luft zu beobachten, wollen wir bei demselben Wärmegrade t $=26\frac{2}{3}°$ und die Barometerhöhe h $=$ 18 Zoll setzen; diess gibt $\lambda = \frac{18}{28} \cdot \frac{8}{9} l = \frac{4}{7} \cdot l$ und die Grösse des Laufgewichtes $p = (l - \lambda)(K - k) = \frac{3}{7} . l\ (K - k)$, u. s. w.

§. 88.

In der aufgestellten Gleichung $\lambda = l - \frac{p . e}{(K - k) a}$ ist noch die Ausdehnung der Flasche durch die Wärme nicht berücksichtigt. Die Längenausdehnung des Glases vom Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt betragt nach *Lavoisier* 0,00089089 bis 0,00091751 oder im Mittel 0,00090420; folglich wird der körperliche Inhalt K — k bei der Wärme t nunmehr $= \left(1 + 0{,}00271260 \cdot \frac{t}{80}\right)(K - k) = (1 + 0{,}0000339\, t)(K - k)$ seyn. Demnach ist das Gewicht der von der Flasche und dem Gegengewichte verdrängten Luft $(1 + 0{,}0000339 . t)(K - k)\,\lambda$. Daraus folgt die Gleichung $(K - k)\, l = (1 + 0{,}0000339\, t)(K - k)\,\lambda + \frac{p . e}{a}$, und hieraus ist $\lambda = \frac{1}{(1 + 0{,}0000339\ t)} \left\{1 - \frac{p . e}{(K - k)\, l . a}\right\}$, in welcher Gleichung der Nenner offenbar $= 1$ gesetzt werden kann, wenn t nur einige Grade beträgt.

§. 89.

Wir wollen noch den Gebrauch dieser Luftwage durch ein Beispiel erklären. Die Flasche des *Manometers* sey dieselbe, welche auf der Reise nach dem Riesengebirge gebraucht wurde, folglich $K - k = 22{,}05$ N. Oe. Kubikzoll, das Laufgewicht p sey $= 2$ Gran, jeder Arm der Wage $a = 18$ Zoll $= 216$ Linien lang, das Gewicht eines Kubikfusses Luft bei $t = 0°$ und $h = 28''$ sey $= \frac{0{,}0752585}{1 + \frac{x}{20000}}$ N. Oe. Pfund, und wenn wir für Prag die Höhe über dem Meere $x = 100$ *Toisen* annehmen, so ist das mittlere Gewicht eines Kubikfusses Luft $l = 0{,}074884$ Pfund $= 575{,}1$ Gran in N. Oe. Gewicht, folglich $(K - k)\, l = \frac{22{,}05}{1728} \cdot 575{,}1 = 7{,}3385$ Gran. Setzen wir nun diese Werthe in die obige Gleichung, so ist $\lambda = 575{,}1 \left(1 - \frac{2\, e}{7{,}3385 . 216}\right) = 575{,}1 \left(1 - \frac{e}{792{,}6}\right)$. In dieser Gleichung enthält der Ausdruck $\frac{575{,}1 . e}{792{,}6}$ die Aenderung des Gewichtes der Luft und zeigt, dass für jede Linie, um welche das Laufgewicht verschoben wird, das Gewicht eines Kubikfusses Luft sich um 0,73 Gran ändert, woraus das Gewicht eines Kubikfusses Luft für jeden Stand des Laufgewichtes sehr leicht berechnet werden kann.

Es lässt sich aber auch die Eintheilung des Wagebalkens so angeben, dass zu jeder Abtheilung das Gewicht eines Kubikfusses Luft angeschrieben werden kann, wodurch nun das Gewicht ohne Rechnung bestimmt wird. Soll z. B. die Entfernung e, um welche das Laufgewichtchen verschoben wird, 100 Gran anzeigen, so braucht man nur die Ge-

wichtsänderung $\frac{575{,}1}{792{,}6} \cdot e = 100$ Gran zu setzen, woraus man $e = \frac{792{,}6}{575{,}1} \cdot 100 = 137{,}8$ Linien findet. Da es nun vortheilhaft ist, die Theilstriche so zu wählen, damit sie immer mit einer ganzen Zahl des Gewichtes der Luft endigen, so macht man in unserm Falle die Proporzion: 100 Gran geben 137,8 Linien, also gibt $\frac{1}{10}$ Gran 0,1373 Linien. Diese Entfernung wird nun von dem Punkte, wo sich das Laufgewicht für die Schwere eines Kubikfusses $l = 575{,}1$ Gran befindet, zurückgetragen, und man erhält auf diese Art jenen Punkt am Wagebalken, wo der Stand des Laufgewichtes genau das Gewicht eines Kubikfusses Luft von 575 Gran anzeigt. Von diesem Punkte aus werden nun die 137,8 Linien aufgetragen, diese Länge in 100 gleiche Theile getheilt und die Theilung auf beiden Seiten des Wagebalkens so weit, als es die Länge desselben gestattet, fortgesetzt; einem jeden dieser Theile wird nun 1 Gran als Aenderung des Gewichtes von einem Kubikfuss Luft entsprechen, und es wird nur noch nothwendig seyn, die Zahl der Theilstriche von diesem Punkte aus auf der einen Seite zu 575 zu addiren, und auf der andern Seite von 575 zu subtrahiren, um sogleich die Anzahl Grane, wie viel ein Kubikfuss wiegt, ablesen zu können. Um nun die Ablesung bequemer zu machen, wird man wie gewöhnlich nur diejenigen Theilstriche, deren Zahlen mit 5 oder 10 theilbar sind, entsprechend beschreiben. Bei dieser Einrichtung und Bezifferung der Wage wird daher jedesmal die Zahl, welche dem Theilstrich zugehört, über welchen sich das Laufgewichtchen gerade befindet, die Zahl Grane angeben, die ein Kubikfuss Luft wiegt. Nach diesem Beispiele wird es nun leicht seyn, die Eintheilung und Beschreibung der Skale des *Manometers* für jede andere Werthe von p, a und K — k auszuführen, und sich auf solche Art ein *Manometer* zu verschaffen, an welchem das Gewicht eines Kubikfusses Luft bloss aus dem Stande des Laufgewichtes ohne weiters zu ersehen ist.

Die Vergleichung des *Manometer*standes mit denjenigen Zahlen, welche das Gewicht eines Kubikfusses Luft durch Rechnung aus Barometer und Thermometerbeobachtungen angeben, wird itzt zeigen, in wie weit das wirkliche Gewicht der Luft an jedem Orte von dem durch Rechnung gefundenen mittlern verschieden ist und hieraus auch die Nichtübereinstimmung der Barometerbeobachtungen mit den gemessenen Höhen erklären können. Uibrigens verdient hier noch bemerkt zu werden, dass man in allen Fällen, wo das Gewicht der Luft unmittelbar benöthigt wird, an dem *Manometer* ein Instrument hat, welches die befriedigendsten Aufschlüsse zu geben im Stande ist.

Es würde aus Beobachtungen mit dem *Manometer* leicht seyn, die Höhe eines Ortes über dem andern zu berechnen, ohne Barometer und Thermometer hiezu nöthig zu haben, wenn nicht der Transport, die Aufstellung und der Gebrauch dieses empfindlichen Instrumentes mit solchen Schwierigkeiten verbunden wäre, die man bei Höhenmessungen im Freien nicht leicht zu beseitigen im Stande ist.

§. 90.

Wenn man in ein mit Wasser gefülltes Gefäss eine beiderseits offene Röhre stellt, und die Luft am obern Ende bei a anzieht oder ansaugt, so steigt das Wasser in die Röhre gegen a hinauf; die äussere Luft drückt nämlich auf die Oberfläche mn des Wassers, und die innere Luft drückt weniger, weil sie durch das Ansaugen verdünnt wurde, demnach steigt auch das Wasser in der Röhre hinauf. Auf diesem einfachen Experimente beruht die Konstrukzion der Saugpumpen. Fig. 22. Tab. 43.

Alle Pumpen lassen sich in drei Gattungen eintheilen: Saugpumpen, Druckpumpen und vereinigte Saug- und Druckpumpen.

Eine Saugpumpe besteht aus dem Saugrohre BCGH, dem Kolbenrohre ABCD, dem Saugventile N, und dem Kolbenventile L, welches letztere durch die Kolbenstange LM aufgezogen wird. Beide Ventile L und N müssen, wenn sie aufliegen, luft- und wasserdicht anschliessen. Die Wirkung oder das Spiel der Saugpumpen erklärt sich auf folgende Weise: Nehmen wir an, der Kolben L sey in seinem tiefsten Stande; zieht man denselben mittelst der Kolbenstange LM in die Höhe, so wird die Luft in dem Raume JBCK verdünnt, das Saugventil N öffnet sich durch den Druck der in der Saugröhre befindlichen atmosphärischen Luft, und wenn auch diese Luft durch den Aufzug des Kolbens verdünnt ist, steigt das Wasser durch den Druck der äussern auf OP wirkenden Luft im Saugrohre in die Höhe. So wie der Kolben seinen höchsten Stand erreicht hat, wird er wieder herabgedrückt, und da nun das Ventil N durch sein Gewicht herabfällt, und während dem Herabgehen des Kolbens geschlossen bleibt, so wird die Luft im Kolbenrohre zusammengedrückt, sonach das Kolbenventil gehoben, und ein Theil der Luft entweicht. Ist der Kolben auf seinem tiefsten Stande angelangt, so wird er abermals aufgezogen, das Saugventil öffnet sich, das Wasser fliesst nach, und wird diese Operazion mehrmal wiederholt, so steigt das Wasser bis an den Kolben und endlich über denselben, worauf es durch das Gussrohr bei R ausläuft. Fig. 23.

Es leuchtet ein, dass die Oberfläche des Kolbens nie 32 Fuss hoch über der Oberfläche des zu hebenden Wassers seyn dürfe, denn da das Wasser unter dem Kolben bloss durch den atmosphärischen Druck, der einer Wassersäule von 32 Fuss gleich kommt, gehoben wird, so muss der Kolben immer unter 32 Fuss Höhe stehen, weil sonst das Wasser denselben nicht erreichen würde. Da überdiess das Wasser auch die Ventile heben muss, und der Druck der Luft bei niedrigem Barometerstande weniger als 32 Fuss beträgt, so pflegt man die Höhe des Saugrohres nicht über 24 Fuss anzunehmen. Soll daher das Wasser mit einer Saugpumpe auf grössere Höhen gehoben werden, so erhöht man das Kolbenrohr bis auf die gehörige Höhe. Ist diese Höhe sehr bedeutend, z. B. 40 oder 50 Klafter, so bringt man mehrere Pumpensätze an, welche in den Bergwerken den Namen Kunstsätze erhalten. Solcher Pumpen werden immer mehrere übereinander gestellt, wovon eine der andern das Wasser zuführt. Die unterste Pumpe steht nämlich in dem Sumpfe, wohin die Grubenwässer zufliessen, und hebt das Wasser in den nächsten hölzernen Kasten, worin sich wieder eine Pumpe befindet, die es in den zweiten Kasten hebt u. s. w. bis man durch eine hinreichende Anzahl Sätze das Wasser in den Stollen, aus welchem es abläuft, gehoben hat. Diese Pumpen werden durch

eine gemeinschaftliche Hauptstange, woran die Kolbenstangen aller Pumpen hängen, in Bewegung gesetzt; sie saugen daher zu gleicher Zeit an, und die Kolben gehen wieder gemeinschaftlich zurück. Die Verbindung dieser Pumpen werden wir im III. Bande bei den Kunsträdern und Wassersäulmaschinen umständlicher kennen lernen; wir bemerken daher nur vorläufig, dass die Anlage mehrerer Pumpensätze den Vortheil gewährt, dass die Wässer aus den hohen Strecken in die höher liegenden Wasserkästen geleitet, und von dort sogleich herausgepumpt werden, ohne desshalb bis zu dem tiefsten Orte zu gelangen, und von dort erst gemeinschaftlich mit dem übrigen Wasser gehoben zu werden.

Fig. 24. Tab. 43. Eine **Druckpumpe** besteht aus dem **Kolbenrohre**, oder dem **Stiefel** ABCD, welches gewöhnlich eine 2 bis 3 Fuss lange metallene Röhre ist, in welcher, so wie bei dem Saugwerke, der **Kolben** auf- und abgeht. Dieser Kolben ist jedoch nicht durchbrochen und mit einem Ventile versehen, wie bei den Saugwerken, sondern er ist ganz massiv. Das Kolbenrohr steht im Wasser, und hat an seinem untern Ende bei B C ein Ventil. Das **Steigrohr** EFGH ist an der Seite des Kolbenrohres angebracht, und leitet das Wasser aus dem Kolbenrohre an den Ort seiner Bestimmung. Am untern Ende dieses Steigrohres ist eine Ausbauchung vorhanden, in welcher ein zweites Ventil liegt. Die Erklärung der Bewegung des Wassers findet nun keinen Anstand. Zieht man nämlich den Kolben in die Höhe, so hebt das einströmende Wasser das Ventil im Kolbenrohre und füllt den Raum unter dem Kolben aus. Drückt man sodann den Kolben hinab, so fällt das untere Ventil zu, es muss daher das Wasser, welches dem Kolben nirgends ausweichen kann, das Ventil im Steigrohre heben, und darin in die Höhe steigen. Zieht man den Kolben zum zweiten Male in die Höhe, so schliesst das Wasser durch seine Schwere das Ventil im Steigrohre, und wird auf diese Art gefangen; das äussere Wasser steigt abermals dem Kolben nach, und drückt man denselben hinab, so fällt das untere Ventil wieder zu, und das Wasser steigt durch das geöffnete Ventil des Steigrohres darin wieder höher. Dieses Spiel geht so fort, bis das Wasser am obern Ende des Steigrohres ausfliesst. Wir sehen hieraus, dass die Druckpumpe durch keine solche Höhe, wie es bei der Saugpumpe hinsichtlich des Wasseransaugens der Fall war, beschränkt ist, und dass man durch Anwendung einer hinreichenden Kraft das Wasser auf jede beliebige Höhe heben könne.

Fig. 25. Die **vereinigte Saug- und Druckpumpe** ist ein gewöhnliches Saugwerk, welches einen massiven Kolben, und auf der Seite ein Steigrohr mit einem Ventile hat, wie dasselbe bei der Druckpumpe angebracht ist. Seine Bewegung erklärt sich leicht aus dem Vorhergehenden.

§. 91.

Die erste Frage, welche bei einer Saugpumpe vorkommt, betrifft die Bestimmung, **wie hoch das Wasser nach einem jeden Hube steigt, und welches die grösste Höhe ist, auf welche dasselbe durch das blosse Ansaugen gehoben werden kann.** Wir haben hier zwei Fälle zu unterscheiden, indem das Saugventil entweder oben auf dem Saugrohre liegt, oder am untern Ende desselben im Wasser angebracht ist. Der zweite Fall gewährt den Vortheil, dass das Ventil, da es

beständig im Wasser liegt, fortwährend schliesst. Befindet sich dagegen das Ventil oben auf dem Saugrohre, und geht die Pumpe einige Zeit nicht, so trocknet das Ventil aus, und muss desshalb wieder aufgeweicht, und zum Anschliessen gebracht werden. Diess geschieht gewöhnlich dadurch, dass man die Pumpe von oben mit Wasser anfüllt, und das Saugventil anquillen lässt.

Bevor wir zur Berechnung der grössten Ansaughöhe des Wassers schreiten, bemerken wir, dass man den Kolben nie bis an das Ende des Kolbens hinabschieben kann. Befindet sich nämlich das Ventil oben am Saugrohre, so kann der Kolben nicht ganz herabgehen, weil das Ventil immer einen Raum von einigen Zollen Höhe für seine Bewegung freibehalten muss. Allein auch in dem Falle, wenn das Ventil unten im Saugrohre angebracht ist, muss dennoch ein kleiner Raum zwischen dem Kolben und dem Boden des Kolbenrohres übrig bleiben, damit der Kolben bei seiner abwärtigen Bewegung nicht Schaden leide. Man nennt diesen Raum den **schädlichen Raum**, weil er der Ansaughöhe, wie wir später sehen werden, nachtheilig ist.

Es befinde sich nun das Saugventil am untern Ende des Saugrohres; die Länge des Saugrohres sey $AB = a$, seine Querschnittsfläche $= f$; die Höhe des schädlichen Raumes $BC = e$, und die Höhe des Kolbenhubes $CD = b$, endlich die Querschnittsfläche des Kolbenrohres $= F$. Befindet sich der Kolben an seinem untersten Punkte C, so wird sowohl im Kolben- als Saugrohre atmosphärische Luft vorhanden seyn; der Kubikinhalt derselben beträgt im Saugrohre $f.a$ und im Kolbenrohre $F.e$. Da diese Luft atmosphärisch ist, so ist sie eben so stark als von einer 28 Zoll hohen Quecksilbersäule, oder von einer $32 = h$ Fuss hohen Wassersäule zusammengedrückt. Zieht man den Kolben in die Höhe, so wird die Luft im Saug- und Kolbenrohre ausgedehnt, und das Wasser steigt im Saugrohre auf die Höhe x. Der kubische Inhalt der Luft im Saugrohre wird daher nur noch $f(a-x)$, im Kolbenrohre dagegen $F(e+b)$ betragen. Diese Luft wird aber nicht mehr von h, sondern von $h-x$ zusammengedrückt, weil der Druck der Atmosphäre auf das Wasser ausserhalb der Pumpe zwar $= h$ ist, innerhalb der Saugröhre aber die Höhe x zu gewältigen hat, folglich nur mit der Höhe $h-x$ auf die eingeschlossene Luft drücken kann. Demnach wird der kubische Inhalt $f(a-x)+F(e+b)$ der Luft bloss von der Höhe $h-x$ zusammengedrückt. Da während dem Ansaugen keine Luft in die Pumpe dringen konnte, weil das Kolbenventil und der Kolben selbst als luftdicht schliessend angenommen wird, so haben wir dieselbe Luftmasse bei verschiedenen Druckhöhen zu betrachten. Vor dem Hube betrug der Raum der Luft im Saug- und Kolbenrohre $f.a+F.e$, und die Druckhöhe h; nach dem Hube nimmt dieselbe Luft den Raum $f(a-x)+F(e+b)$ ein, und wird von $h-x$ zusammengedrückt. Nach dem *Mariotte*'schen Gesetze verhalten sich in diesem Falle die Lufträume verkehrt wie die drückenden Säulen, demnach ist $f.a+F.e : f(a-x)+F(e+b) = h-x : h$. Hieraus lässt sich die Höhe x finden, auf welche das Wasser nach dem ersten Kolbenhube steigt.

Fig. 26. Tab. 43.

Drückt man nun den Kolben wieder herab, so schliesst sich das Ventil unten im Saugrohre, und das Wasser bleibt auf der Höhe x stehen. Die zuvor verdünnte Luft wird zusammengedrückt, das im Kolben befindliche Ventil öffnet sich, und es geht so viel Luft heraus, bis die innere Luft so stark als die äussere atmosphärische gepresst ist, wobei aber

Fig. 26. Tab. 43. auf das Gewicht des Ventils keine Rücksicht genommen ist. Ist der Kolben unten in C wieder angelangt, so ist der Raum der unter dem Kolben befindlichen Luft im Saugrohre $= f(a - x)$, und im Kolbenrohre $= F . e$; die Druckhöhe dieser Luft ist aber $= h$. Zieht man hierauf den Kolben zum zweiten Male in die Höhe, so wird die Luft in einen grössern Raum ausgedehnt, sie wird also dünner, und das Wasser steigt im Saugrohre auf die Höhe x'. Der Raum, welchen die Luft nach dem zweiten Hube einnimmt, beträgt daher $f(a - x') + F(e + b)$, und diese Luft wird von $h - x'$ zusammengedrückt. Da wir hier wieder einerlei Luftmassen unter verschiedenen Druckhöhen betrachten, so ist $f(a - x) + F . e : f(a - x') + F(e + b) = h - x' : h$, woraus die Höhe x' auf welche das Wasser beim zweiten Hube steigt, berechnet werden kann. Auf gleiche Art findet man die Steighöhe x'' des Wassers nach dem dritten Hube aus der Proporzion
$f(a - x') + F . e : f(a - x'') + F(e + b) = h - x'' : h$.

Die Hubshöhe ist offenbar am grössten (X), wenn das Wasser vor und nach dem Hube auf einer gleichen Höhe stehen bleibt; setzen wir daher für diesen Fall $x'' = x' = X$, so ist $f(a - X) + F . e : f(a - X) + F(e + b) = h - X : h$. Hieraus folgt
$0 = f . X^2 - f . a . X - F . e . X - F . b . X + F . b . h$ und wird das Quadrat ergänzt, und die Wurzel gezogen, so ist $X = \frac{a}{2} + \frac{F}{f}\left(\frac{e + b}{2}\right) \pm \sqrt{\left\{\left(\frac{a}{2} + \frac{F}{f}\left(\frac{e + b}{2}\right)\right)^2 - \frac{F . b . h}{f}\right\}}$.

Beispiel. Es sey die Länge des Saugrohres $a = 24$ Fuss, die Höhe des schädlichen Raumes $e = 1/4$ Fuss, die Hubshöhe $b = 1$ Fuss, ferner der Durchmesser des Kolbenrohres $= 4$ Zoll, und jener des Saugrohres $= 2$ Zoll, so ist $\frac{F}{f} = \left(\frac{4}{2}\right)^2 = 4$. Demnach ist
$X = \frac{24}{2} + 4\left(\frac{1/4 + 1}{2}\right) \pm \sqrt{\left\{\left(\frac{24}{2} + 4\left(\frac{1/4 + 1}{2}\right)\right)^2 - 4.32.1\right\}} = 12 + 2{,}5 \pm 9{,}1$. Nimmt man hier das positive Zeichen, so ist die grösste Ansaughöhe $X = 23{,}6$ Fuss; nimmt man aber das negative Zeichen, so ist $X = 5{,}4$ Fuss. Wenn also das Wasser im Saugrohre eine Höhe von 5,4 Fuss erreicht hat, steigt es nicht mehr. Das Mittel, um es höher zu bringen, besteht darin, dass man den Saugkolben herauszieht, und in die Röhre Wasser hineingiesst, sodann den Kolben wieder hineinschiebt, und die Pumpe in Bewegung setzt. Die Erfahrung hat gelehrt, dass, wenn nicht das ganze Saugrohr angefüllt, und nur bis zur Höhe von 23,6 Fuss oder noch weniger Wasser eingeschüttet würde, man auch in diesem Falle noch kein Wasser mit der Pumpe heben könne. Man pflegt demnach gleich anfangs das ganze Saug- und Kolbenrohr mit Wasser anzufüllen und sodann erst den Kolben hinein zu schieben, um versichert zu seyn, dass keine Luft unter dem Kolbenventile mehr vorhanden ist. Da aber bei dem folgenden Pumpen das Wasser im Saugrohre nur durch den Druck der Atmosphöre ersetzt werden kann, dieser Druck aber nicht höher als bis auf 32 Fuss reicht, so sieht man, dass der höchste Stand des Kolbens die Höhe von 32 Fuss nicht erreichen dürfe.

§. 92.

Fig. 27. Betrachten wir nun den zweiten am meisten vorkommenden Fall, wenn das Ventil am obern Ende des Saugrohres angebracht ist. Um hier die grösste Ansaughöhe zu finden, wollen wir wieder den Kolben in seiner untersten Lage annehmen, in welcher der Kubikinhalt der atmosphärischen Luft im Saugrohre, und

im schädlichen Raume $f.a + F.e$, die Druckhöhe auf die eingeschlossene Luft aber h beträgt. Zieht man den Kolben hinauf, so steigt das Wasser auf die Höhe x, und die verdünnte Luft nimmt nach dem ersten Hube den Raum $f(a-x) + F(e+b)$ ein, und wird von $h - x$ zusammengedrückt. Demnach ist Fig. 27. Tab. 43.
$f.a + F.e : f(a-x) + F(e+b) = h - x : h$, woraus die Ansaughöhe x berechnet werden kann; diese Höhe ist dieselbe, wie wir sie bei der vorigen Saugpumpe nach dem ersten Hube berechnet haben.

Drückt man den Kolben zum zweitenmale hinab, so schliesst sich im Saugrohre das Ventil, und es bleibt die vorige verdünnte Luft $f(a-x)$ darin, die von $h - x$ zusammengedrückt ist. Im Kolbenrohre ist dagegen $F.e$ atmosphärische Luft, weil sich das im Kolben befindliche Ventil öffnet, sobald die Luft durch das Herabdrücken dichter wird als die äussere Atmosphäre. Weil wir nun in der Pumpe zweierlei Luft haben, wovon die eine im Saugrohre, nämlich $f(a-x)$, von der Höhe $h - x$, jene im Kolbenrohre $(F.e)$ von der Höhe h zusammengedrückt ist, so werden wir die verdünnte Luft im Saugrohre auf atmosphärische reduziren, oder denjenigen Raum R suchen, welchen die verdünnte Luft einnehmen würde, wenn sie von h zusammengedrückt wäre. Auch diess ergibt sich nach dem *Mariotte*'schen Gesetze, indem wir $f(a-x) : R = h : h - x$ haben, woraus $R = \frac{f(a-x)(h-x)}{h}$ folgt. Nun lassen sich die beiden Luftmengen addiren; sie betragen nämlich $\frac{f(a-x)(h-x)}{h} + F.e$ und sind beide von h zusammengedrückt.

Zieht man den Kolben zum zweitenmale hinauf, so verdünnt sich die Luft wieder, und das Wasser steigt auf die Höhe x'; daher ist der Raum der verdünnten Luft $f(a-x') + F(e+b)$, und sie wird von $h - x'$ zusammengedrückt. Nach dem *Mariotte*'schen Gesetze ist $\frac{f(a-x)(h-x)}{h} + F.e : f(a-x') + F(e+b) = h - x' : h$; aus dieser Proporzion würde man abermals die Höhe x' finden. Man sieht nun schon, wie man mit diesen Proporzionen für die folgenden Ansaugungen fortzufahren hat. Wenn zuletzt das Wasser im Saugrohre die grösste Höhe X erreicht hat, so ist in der Proporzion wieder statt dem vorhergehenden und dem folgenden x, nur X zu setzen, folglich haben wir für die grösste Ansaughöhe $\frac{f(a-X)(h-X)}{h} + F.e : f(a-X) + F(e+b) = h - X : h$. Nach gehörigen Redukzionen ergibt sich hieraus $X = \frac{b.h}{b+e} = \frac{h}{1+\frac{e}{b}}$. Die grösste Ansaughöhe hängt demnach von dem Verhältnisse $e : b$ ab, und nur, wenn $e = 0$ ist, wird X der Höhe des atmosphärischen Druckes h gleich. Wir sehen hieraus, warum man die Höhe e den schädlichen Raum nennt; sodann zeigt uns die Formel, dass das Verhältniss der zwei Flächen $F : f$ keinen Einfluss auf die Ansaughöhe X habe, wenn das Ventil oben auf dem Saugrohre liegt.

Beispiel. Es sey wie im vorigen Falle $b = 1$ Fuss und $e = \frac{1}{4}$ Fuss, so ist die grösste Ansaughöhe $X = \frac{32}{1+\frac{1/4}{1}} = 25{,}6$ Fuss, demnach grösser als im vorigen Falle, wo das Ventil unten im Saugrohre angebracht war. Weil aber in diesem Falle das Ven-

til auf dem Saugrohre jederzeit vollkommen schliessen muss, so pflegt man, um sich hiervon zu versichern, das Kolbenrohr gleich anfangs ganz mit Wasser zu füllen und nach einiger Zeit nachzusehen, ob das Wasser auf seiner Höhe geblieben ist. Sollte diese vermindert worden seyn, so liegt der Fehler im Ventil des Saugrohres, welches demnach hergestellt und vollkommen schliessend gemacht werden muss. Hiernach wird der Kolben eingeschoben und die Pumpe in Gang gesetzt. Dieselbe Operazion muss jedesmal wiederholt werden, wenn die Pumpe kein Wasser geben will. Da auch bei dieser Gattung Saugpumpen das Wasser nur durch den Druck der Atmosphäre gehoben wird, so sieht man, dass der höchste Stand des Kolbens nie 32 Fuss erreichen darf.

§. 93.

Um die Kraft zu berechnen, welche ohne Rücksicht auf Widerstände Fig. 23. Tab. 43. zur Betreibung einer Saugpumpe erfordert wird, wollen wir den Kolben während seinem Aufzuge auf seiner mittlern Höhe in dem Punkte I betrachten und die Saugpumpe bereits ganz mit Wasser gefüllt annehmen. Da das Wasser aus dem Gussrohre ausfliesst, so stehe es auf irgend einer Höhe in E, so dass EI die Höhe der Wassersäule ist, die durch den Kolben gehoben werden muss. Da aber auf die Oberfläche des Wassers bei E noch die atmosphärische Luft mit einer Säule von 32 Fuss $= h$ drückt, so wird das Gewicht der auf den Kolben drückenden Wassersäule $= 56{,}4 \,.\, F\,(EI + h)$ seyn. Wie man den Kolben hinaufzieht, so folgt von unten das Wasser, welches von der äusseren Atmosphäre den Druck von der Höhe h erleidet und eben so stark von innen in die Höhe gedrückt wird, demnach von unten an den Kolben nur mit der Höhe $h - IO$ drücken kann. Wäre das Saugrohr so hoch, dass $h = IO$, so würde das Wasser dem Kolben gar nicht folgen und auch gar kein Druck von unten an den Kolben statt finden. Wir haben daher den Druck von unten $= 56{,}4\, F\,(h - IO)$. Da dieser Druck der Kraft zu Hilfe kommt, so ist $K = 56{,}4\, F\,(EI + h) - 56{,}4\, F\,(h - IO) = 56{,}4\, F \,.\, EO$. Die Kraft K muss daher die ganze Wassersäule vom Unterwasser bis zu dem Wasserspiegel über dem Ausflusse heben, und sie ist so gross als das Gewicht einer Wassersäule, welche diese ganze Höhe zur Höhe, und die Querschnittsfläche des Kolbens zur Fläche hat. Nehmen wir noch das Gewicht des Kolbens sammt der Kolbenstange in Rechnung, ziehen wir hiervon das vom Kolben und der Stange verdrängte Wasser ab, und setzen den Ueberrest $= G$, so muss dieses Gewicht ebenfalls addirt werden, und wir erhalten die Kraft an der Kolbenstange $K = 56{,}4\, F \,.\, AD + G$. (I)

Bei dem Herabdrücken des Kolbens hat man gar keine Kraft auszuüben, der Kolben wird vielmehr von dem Gewichte herabgezogen, demnach ist $K' = -G$ (II).

Da nun die gleichförmige Bewegung bei allen Maschinen die vortheilhafteste ist, so wird es auch hier darauf ankommen, die Last so zu vertheilen, dass die Kraft immer dasselbe zu thun bekommt, oder bei dem Aufziehen und Herabdrücken des Kolbens gleich sey. Zu diesem Zwecke bringt man gewöhnlich am Ende des Hebels, wodurch die Pumpe bewegt wird, ein Gegengewicht, oder wie es bei Bergwerken geschieht, einen Steinkasten an, der bei dem Aufziehen des Kolbens der Kraft zu Hilfe kommt, bei dem Herabdrücken desselben aber gehoben werden muss. Nennen wir das Gewicht des Steinkastens $= S$, den Hebelsarm desselben $= a$, und jenen der Last, $MR = b$, so ist

die Kraft, welche dem Steinkasten an der Kolbenstange in M das Gleichgewicht hält $=\frac{S.a}{b}$; demnach haben wir beim Hinaufziehen der Kolbenstange $K=56{,}4\,F.EO+G-\frac{S.a}{b}$ (III) und beim Herabgehen $K'=-G+\frac{S.a}{b}$ (IV). Soll nun die Kraft in beiden Fällen gleich oder $K=K'$ seyn, so ist Fig. 23. Tab. 43.

$56{,}4\,F.EO+G-\frac{S.a}{b}=-G+\frac{S.a}{b}$. Hieraus folgt das Gewicht des Steinkastens

$S=\left(\frac{56{,}4\,F.EO}{2}+G\right)\frac{b}{a}$. Die Anbringung dieses Gegengewichtes wird nun den Vortheil gewähren, dass die Kraft sowohl beim Aufzuge als beim Herabgehen des Kolbens eine gleiche Arbeit zu verrichten hat. Dieses Gegengewicht ist übrigens um so nothwendiger, je grösser die Höhe ist, auf welche das Wasser gehoben werden muss; denn es kann bei Anwendung der menschlichen Kraft der Fall eintreten, dass dieselbe bei hohen Pumpenwerken die ganze Wassersäule gar nicht zu heben vermag, wogegen bei dem Anbringen des Gegengewichtes bei jedem Zuge nur die Hälfte dieser Last zu heben ist.

§. 94.

Es sey nun die Kraft anzugeben, welche man ohne Rücksicht auf Widerstände zur Bewegung des Kolbens einer Druckpumpe anwenden muss. Betrachten wir den Kolben während dem Herabdrücken auf irgend einer Höhe, so hat die Kraft, wenn sie unmittelbar an der Kolbenstange wirkt, die ganze Wassersäule von der untern oder dem Wasser entgegenstehenden Fläche des Kolbens bis zur Ausflussöffnung, und nebstbei die Höhe h, womit das ausfliessende Wasser von der atmosphärischen Luft gedrückt wird, zu überwältigen; es ist daher für das Herabgehen des Kolbens $K=56{,}4\,F\,(GA+AI+h)$. Dieser Kraft kommt der Druck der Atmosphäre $56{,}4\,F.h$ auf den Kolben, und das Gewicht des Kolbens sammt dem aufgelegten Zulagsgewichte G zu Hilfe. Wir haben daher Fig. 24.

$$K=56{,}4\,F(GA+AI+h)-56{,}4\,F.h-G=56{,}4\,F\,(GA+AI)-G.$$

Beim Hinaufziehen schliesst sich das Ventil im Steigrohre und öffnet sich jenes im Saugrohre. Die Kraft K′ muss daher wieder den Druck der Atmosphäre $56{,}4\,F.h$ und das Gewicht G überwältigen, wogegen von unten auf den Kolben die Atmosphäre und die Wassersäule AI mit der Kraft $56{,}4\,F\,(h+AI)$ drückt. Wir erhalten daher die wirklich benöthigte Kraft $K'=56{,}4\,F.h+G-56{,}4\,F\,(h+AI)=G-56{,}4\,F.AI$.

Soll hier wieder die Kraft beim Auf- und Niedergange des Kolbens gleich seyn, so haben wir $56{,}4\,F\,(GA+AI)-G=G-56{,}4\,F.AI$, woraus $G=56{,}4\,F\left(\frac{GA}{2}+AI\right)$ folgt. Man muss daher den Kolben so schwer machen oder so viel zulegen, als das Gewicht einer Wassersäule beträgt, welche die Fläche des Kolbens zur Basis, die halbe Steighöhe aber zur Höhe hat. Zu diesem Behufe legt man gewöhnlich auf den massiven Kolben oder auf den *Balancier* M, welcher denselben herabdrückt, eine hinreichende Anzahl Gusseisen-Platten auf. Wir sehen aber noch, dass dieses Zulagsgewicht nicht immer gleich bleiben werde. Steht nämlich das Druckwerk, wie es gewöhnlich der Fall ist, in einem Flusse, wo es durch die Kraft eines unterschlächtigen Wasserrades bewegt wird, so steigt der Wasserspiegel

Fig. 24. Tab. 43. des Flusses bei verschiedenen Jahreszeiten; da aber das Wasser immer auf denselben Punkt zu heben ist, so verändert sich die Höhe G A, demnach auch das Zulagsgewicht mit dem Stande des Wassers; steigt das Wasser im Flusse, so wird G A, folglich auch das Zulagsgewicht kleiner, und im Gegentheile. In der Ausübung pflegen die Personen, welche die Aufsicht über ein solches Wasserwerk führen, ein oder mehrere Eisenplatten von dem Kolben oder *Balancier* abzunehmen oder zuzulegen, bis der Kolben in gleicher Zeit hinauf- und hinabgeht.

§. 95.

Nach diesen Grundsätzen kann man auch die Kraft berechnen, welche zur Bewegung einer vereinigten Saug- und Druckpumpe erfordert wird. Es befinde sich der Kolben wieder auf seiner mittleren Höhe in B, und die Maschine sey wieder in vollkommenem Gange. Wird nun der Kolben in die Höhe gezogen, so hat die Kraft K den Druck der Atmosphäre 56,4 F . h zu gewältigen, von unten folgt das Wasser dem Kolben und drückt denselben in die Höhe. Da diess nur durch den Druck der äussern Atmosphäre geschieht, und hierdurch das Wasser auf die Höhe I O gehoben werden muss, so bleibt bloss ein Druck 56,4 F (h — I O) übrig, womit das Wasser von unten an den Kolben drückt. Setzen wir nun noch das Gewicht des Kolbens sammt Zulagsgewicht = G, so ist die Kraft beim Aufzuge desselben

(Fig. 25. Tab. 43.)

$= 56{,}4\,F.h + G - 56{,}4\,F\,(h - IO) = 56{,}4\,F.IO + G.$

Geht der Kolben herab, so öffnet sich das Ventil im Steigrohre, es hat daher die Kraft die Wassersäule L G und den bei G wirkenden atmosphärischen Druck h zu überwältigen; wogegen der Druck der Atmosphäre auf den Kolben und das Gewicht G der Kraft zu Hilfe kommt. Wir haben daher

$K' = 56{,}4\,F\,(LG + h) - 56{,}4\,F.h - G = 56{,}4\,F.LG - G.$

Soll wieder die Kraft beim Aufziehen und Herabdrücken des Kolbens gleich seyn, so haben wir $56{,}4\,F.IO + G = 56{,}4\,F.LG - G$, woraus $G = 56{,}4\,F\frac{(LG - IO)}{2}$. Da dieses Zulagsgewicht von dem Höhenunterschiede LG — IO bestimmt wird, so sehen wir, dass das vereinigte Saug- und Druckwerk vor dem einfachen Druckwerke den Vortheil gewährt, dass es ein kleineres Zulagsgewicht fordert. Uibrigens gilt auch hier dieselbe Bemerkung, dass sich dieses Gewicht, womit der Kolben beschwert werden muss, mit der Höhe des Wasserstandes in einem Flusse ändert.

§. 96.

Ein Kunstsatz in den Bergwerken besteht aus einem Saugrohre AB, welches aus Lerchen- oder Kiefernholz gebohrt, und wegen der nothwendigen Festigkeit hinreichend mit eisernen Ringen beschlagen wird. Auf dasselbe wird das Saugventil bei a angenagelt, und hierauf das Kolbenrohr B G, dessen Durchmesser immer grösser ist, befestiget. Das Kolben- und Saugrohr werden mittelst eines sogenannten Stöckels C B mitsammen verbunden; diess ist ein rundes ausgebohrtes mit eisernen Reifen beschlagenes Holzstück, in welches die zwei Röhren eingesetzt, und darin gut verkeilt werden. Bei einem niedern Satze hat das Saugrohr höchstens 24 Fuss, und das Kolbenrohr bis zum Ausfluss des Wassers 4 Fuss Höhe; das Wasser wird sonach auf 28 Fuss Höhe mit einer solchen

(Fig. 1. Tab. 44.)

Pumpe gehoben. Bei den **hohen Sätzen** wird jener Theil ab des Kolbenrohres, worin sich der Kolben bewegt, von Eisen oder Metall verfertiget, hierauf aber ein oder mehrere hölzerne Aufsatzröhren EF aufgesteckt; diese Röhren werden, wie der Durchschnitt bei F zeigt, keilförmig in einander geschoben, das metallene Kolbenrohr aber mit dem Saugrohre und den hölzernen Aufsatzröhren abermals durch Stöckeln BC und DE verbunden. Diese Aufsatzröhren EF sind gewöhnlich 2 Klafter lang, und werden ebenfalls mit mehreren eisernen Ringen versehen; der Durchmesser derselben ist eben so gross, als jener des metallenen Kolbenrohres. Die Höhe der Saugröhre AB bei hohen Bergwerkssätzen beträgt nur 8 bis 12 Fuss, der Kolbenhub 6 Fuss, die Höhe des metallenen Kolbenrohres ab ist 8 Fuss und die Höhe, auf welche das Wasser gehoben wird, oder der Abstand mn der beiden Wasserspiegel 15 bis 16 Klafter. (Siehe Anleitung zu der Bergbaukunst von *Delius*, Wien 1773, Seite 322.) Die Höhe eines **mittleren Satzes** beträgt nur 8 bis 10 Klafter. Um die metallene Kolbenröhre in ihrer senkrechten Lage festzuhalten, sind an dieselbe 2 oder 4 herausstehende Arme o, o′ angegossen, die in der Schachtzimmerung befestiget sind; das Saugrohr und die Aufsatzröhren werden durch Spreizen in der Zimmerung gleichfalls befestiget. Fig. 1. Tab. 44.

Bei Grundbauen, wo das Wasser nicht über 18 Fuss Höhe zu fördern ist, bedient man sich gewöhnlich hölzerner Pumpen, die aus viereckigen Bohlen gut zusammengefügt werden und Fig. 28 und 29 dargestellt sind. Das Saugrohr bleibt hier gewöhnlich weg und die Pumpe besteht bloss aus einem viereckigen Kolbenrohre, an dessen unterm Ende ein Seiher und das Saugventil angebracht ist; der Kolben ist ebenfalls viereckig und wird aus einem Stabe oder hölzernen Klotze verfertiget, der an seinem untern Theile abgerundet wird, damit das Wasser leichter durchfliessen könne. Inwendig ist ein Klappenventil angebracht. Solcher Pumpen werden immer 2 gegen einander gestellt, und gemeinschaftlich bewegt, so dass, wenn ein Kolben herabgeht, der andere aufgezogen wird. Das gehobene Wasser läuft durch eine gemeinschaftliche Rinne ab. Fig. 28 und 29. Tab. 43.

§. 97.

Es gibt **verschiedene Gattungen Ventile**, welche mehr oder minder dem Zwecke entsprechen, das Wasser beim Ansaugen gehörig durchzulassen, und sich beim Herabgehen des Kolbens sogleich luft- und wasserdicht zu schliessen. Die gewöhnlichste Gattung der Ventile sind die **einfachen Klappenventile**; sie bestehen aus einer oder zwei Scheiben starkem, vor seinem Gebrauche in einer heissen Mischung von Talg, Oehl und Theer getränkten Leder, welches zwischen zwei Platten von Kupfer oder Eisen, wovon die obere etwas grösser, die untere etwas kleiner als die Querschnittsfläche des Saugrohrs ist, mittelst einer durchgehenden Schraube hiemit verbunden wird. Das Leder wird mittelst eines hervorstehenden Lappens auf die obere Fläche des Saugrohres angenagelt.

Eine verbesserte Art dieser Ventile ist aus dem Durchschnitte Fig. 2 und dem Grundrisse Fig. 3 ersichtlich. Es besteht gleichfalls aus einer Scheibe ab von hinreichend starkem Leder, worauf oben ein konisch abgedrehtes Stück Holz cd, unten aber eine schwächere Platte ef von Eisen, die wieder etwas kleiner als die Querschnittsfläche des Saug- Fig. 2 und 3. Tab. 44.

Fig. 2 und 3. Tab. 44. rohres ist, befestiget wird. Diese Verbindung geschieht durch die in der Mitte durchgehende Schraube g h oder durch einen unten verkeilten eisernen Bolzen. Das Leder wird bei a an das Saugrohr angenagelt. Damit bei dem häufigen Heben der Klappen die Nägel keine Einschnitte in das Leder machen, legt man auf dasselbe einen starken eisernen Blechstreifen m n, der dort, wo sich das Leder anlegt, abgerundet ist, und schlägt die Nägel durch die hierin angebrachten Oeffnungen in das Saugrohr ein. Das obere konische Holz muss eine solche Höhe erhalten, damit das Ventil beim Aufgehen sich nicht rückwärts an die Kolbenröhre anlehne und geöffnet stehen bleibe.

Fig. 4 und 5. Sind die Saugröhren von grösserem Durchmesser, so werden doppelte Klappenventile angebracht; es geht nämlich in diesem Falle eine eiserne Platte a b (der Steg) quer über das Saugrohr, woran die 2 Ventile, wie der Grundriss und Durchschnitt zeigt, befestiget sind. Damit die Klappen sich nicht zu weit öffnen und nicht etwa in der vertikalen Lage stehen bleiben, befindet sich in der Mitte des Steges ein aufrecht stehender Bolzen c d. Aus dieser Figur wird zugleich ersichtlich, wie ein metallenes Saugrohr mit einem metallenen Kolbenrohre verbunden wird. Beide Röhren werden nämlich im Gusse mit kreisrunden Rändern e e, e′ e′ versehen, zwischen welche eine metallene Scheibe g h, an der der Steg angegossen ist, und beiderseits an dieser Scheibe eine starke Scheibe von Leder, die in der Mitte gehörig ausgeschnitten ist, aufgelegt und mit Schrauben m, m, ... gut angezogen wird, damit die Verbindung der Röhren sowohl luft- als wasserdicht werde.

Fig. 6 und 7. Das Kegelventil besteht aus einem abgekürzten hohlen Kegel a b von Metall, welcher an dem runden Stiele c befestiget ist. Dieser Stiel geht durch den Steg d e und an dem untern Ende des erstern ist eine Schraube f angebracht, welche verhindert, dass sich das Ventil mehr hebe, als gerade erfordert wird. Der Steg ist hier abermals mit der mittlern Eisenplatte g h aus einem Stücke gegossen. Bei geöffnetem Ventile muss der Raum für den Durchfluss des Wassers so gross als der Querschnitt der Saugröhre seyn. Nennen wir den Halbmesser des Saugrohrs $= r$, und die Höhe, auf welche das Ventil gehoben wird $= x$, so mus $\pi . r^2 = 2 \pi . r . x$ und $x = \frac{r}{2}$ seyn, d. h. das Ventil muss wenigstens so viel gehoben werden, als der vierte Teil des Durchmessers des Saugrohrs beträgt. Damit das Ventil luft- und wasserdicht schliesse, muss der hohle Kegel in die darunter liegende Platte oder den Teller genau passen und daher eingerieben werden.

Fig. 8 und 9. Das Muschelventil besteht aus einem hohlen Kugelabschnitt, welcher abermals genau in den ausgeschliffenen metallenen Teller passt. Fig. 8 zeigt dieses Ventil mit einem oberhalb angebrachten Stiele, der wieder durch einen Steg geführt ist.

Kugelventile bestehen aus einer hohlen, metallenen, gut abgedrehten und frei aufliegenden Kugel, welche in ein ausgeschliffenes Kugelsegment genau passt. Da es jedoch sehr schwierig ist, eine Kugel vollkommen genau abzudrehen und ihr das gehörige Gewicht zu geben, um dem Wasser bei dem Durchfliessen keinen zu grossen Widerstand entgegen zu setzen, so wird das Kugelventil nur selten gebraucht, wogegen Kegelventile und vorzüglich Klappenventile allgemein im Gebrauche sind.

§. 98.

Die **Konstrukzion der Kolben** ist eben so verschiedenartig als jene der Ventile. Die Kolben bei Saugwerken müssen hinreichend fest gebaut und mit einer gehörigen Oeffnung und gut passendem Ventil versehen seyn, damit das Wasser durch den Kolben ohne Anstand dringen könne, und wenn es sich über demselben befindet, nicht wieder zurückfliesse. Die gewöhnlichste Art Kolben ist Fig. 10 dargestellt; derselbe besteht aus einem hölzernen Zylinder, durch welchen der Bügel b a b′ geht, der durch die Absätze c, c′ und unten bei b und b′ durch Schrauben an den Kolben befestiget ist. In diesem gabelförmigen Bügel wird oben bei a die eiserne Kolbenstange eingehängt. Das hervorstehende Leder des Klappenventils wird durch den Bügel c am Kolben befestigt und daher nicht weiter angenagelt. Der hölzerne Zylinder ist bei d, d′ schräg eingedreht, und es wird daselbst ein lederner Streifen d e e′ d′ ringsherum angenagelt und mit seinen beiden Enden zusammengenäht. Dieser Streifen Leder reibt sich nun an der innern Fläche des Kolbenrohres und muss damit luft- und wasserdicht schliessen. Wir sehen aus dem Durchschnitte, dass das hervorstehende Leder bei dem Aufzuge des Kolbens vom Wasser an die Fläche des Kolbenrohres angedrückt werde und dadurch einen genauen Schluss bewirke. Fig. 10. Tab. 44.

Für Saugwerke von grösserem Durchmesser braucht man **Kolben mit doppeltem Klappenventile**. Der Kern des Kolbens ist hier gewöhnlich von Gusseisen, wie diess meistens bei den englischen Pumpen der Fall ist; der lederne Streifen d e e′ d′ wird durch einen eisernen, von innen abgeschrägten, gut angetriebenen Ring m m′ an dem Kolben festgehalten. Wie der Stiel des Kolbens mit der Kolbenstange durch Verzahnung verbunden wird, zeigt die Figur. Fig. 11.

Sollen **heisse Flüssigkeiten** gepumpt werden, so kann man sich keines Leders bei dem Ventile bedienen, man bringt daher ein **Scheibenventil** an dem Kolben an; dasselbe wird nämlich von Metall verfertigt und hierin 5 oder 6 Oeffnungen angebracht. Eine bewegliche metallene Scheibe a b, welche sehr gut auf die zylindrisch abgedrehte Kolbenstange passt und eben so genau an den Kolben anschliesst, hebt sich bei dem Durchgange der Flüssigkeit bis zu dem Ansatz c d in die Höhe und fällt wieder hinab, wenn der Kolben hinaufsteigt. Der äussere Umfang des Kolbens wird mit Werg e f g h, welches früher in Talg getränkt wurde, umwickelt. Fig. 12 und 13.

§. 99.

Die **Kolben für Druckwerke** werden auch auf verschiedene Art konstruirt. Die einfachste Art besteht in mehreren übereinander liegenden Scheiben von Leder oder Filz, welche durch zwei eiserne Platten a b, c d mittelst eines verschraubten oder verkeilten Bolzens e f, woran die Kolbenstange befestiget wird, zusammengehalten werden. Bei dieser Art Kolben ist jedoch die Reibung anfangs ausserordentlich gross, und wenn sie etwas abgenützt sind, lassen sie für das zu hebende Wasser einen zu grossen Spielraum. In dieser Hinsicht ist es zweckmässiger, zwischen die zwei metallenen Scheiben Hanf oder locker gedrehte hanfene Stricke zu wickeln, weil der Hanf anquillt, und dadurch um so besser an die Kolbenfläche anschliesst. Fig. 14.

Fig. 15. Tab. 44. Diese Kolben werden auch von Holz oder Metall gemacht, und ein Stück Leder a b c d ringsherum so angenagelt, dass es zu beiden Seiten hervorsteht, und sich sowohl oben als unten an das Kolbenrohr anschliesst.

Fig. 16. Zweckmässiger ist die Konstrukzion des Kolbens, wenn zwei Stücke Leder gebraucht werden, wovon das eine a b c d unter rechtem Winkel um eine eiserne runde Platte e b c f aufwärts, und das andere g h i auf gleiche Art abwärts gebogen ist. Zwischen denselben liegt dann noch eine Platte k l starkes Leder, und das Ganze wird durch einen starken Bolzen m n zusammengezogen. Das Leder muss hier wie bei den andern Kolben mit Oehl und Talg gut eingeschmiert werden.

Fig. 17. In neueren Zeiten hat man sich einer verbesserten Art von Kolben bedient, welche zuerst bei der *Bramah*'schen Presse in Anwendung gekommen ist. Dieselbe ist Fig. 17 dargestellt. Die Liederung ist hier nicht an den Kolben angebracht, sondern sie ist am obern Ende des Kolbenrohres befestiget, während der Kolben selbst bloss aus einem metallenen gut abgedrehten Zylinder besteht, der bei dem Gange der Maschine auf- und abgezogen wird. Auf das Kolbenrohr wird in diesem Falle ein metallener Deckel mit Rändern a b c a′ b′ c′ aufgelegt; dazwischen werden 2 oder mehrere lederne Scheiben d b e d′ b′ e′, d f d′ f′ eingelegt und auf- und abwärts umgeschlagen; sodann werden die eisernen Ränder des Kolbenrohres und Deckels durch Schrauben zusammengezogen. Diese Kolbenliederung hat den Vortheil, dass wenn auch das Leder durch die Bewegung des fest angepressten Kolbens sich nach einiger Zeit auslauft, doch das schlappgewordene Leder vom Wasser angedrückt und auf solche Art der sichere Schluss des Kolbens durch eine längere Zeit unterhalten wird. Wir werden eine noch bessere Liederung dieser Art im nächsten §. bei der Beschreibung der *Brahmah*'schen Presse kennen lernen.

Fig. 18 bis 20. Da es nothwendig wird, zeitweise den Ventilen nachzusehen, um Reparaturen daran vorzunehmen, und da es zu beschwerlich wäre, immer das Saugrohr von dem Kolbenrohre abzuschrauben, um dem Saugventil nachzusehen oder den Kolben ganz herauszuziehen, um das Kolbenventil zu verbessern, so wird es nothwendig, auch hiefür eine zweckmässige Vorrichtung anzubringen. Dieselbe ist Fig. 18 bis 20 bei der ganz aus Gusseisen nach englischer Art dargestellten Saugpumpe ersichtlich; man bringt nämlich am obern Ende des Saugrohres, und am obern Ende des Kolbenrohres einen Zwischensatz A B C D und E F G H an, wobei die vordere Platte D C und H G abgeschraubt werden kann. Die Oeffnung, welche durch die Abnehmung dieser Platte entsteht, muss jedoch so gross seyn, damit man sowohl dem Saug- als Kolbenventile gut beikommen, sie nöthigenfalls herausnehmen und dagegen neue Ventile einsetzen, sonach den Gang der Pumpe sogleich wieder herstellen könne. Bei dieser Pumpe ist unterhalb ein Seiher angebracht, um die Unreinigkeiten des Wassers abzuhalten, und oberhalb desselben befindet sich eine Zapfenöffnung K, wodurch der allenfalls hineingekommene Sand herausgeräumt werden kann.

§. 100.

Die *Brahmah*'sche Presse, deren Prinzip wir bereits §. 6 angegeben haben, ist mit ihrem Detail auf der 45sten Tafel dargestellt. Sie besteht aus einem gusseisernen Gerüste

LM, L'M', das in der Längenansicht Fig. 1, der vordern Ansicht Fig. 3, dann im Grundrisse Fig. 2 ersichtlich ist, und Fig. 11 besonders dargestellt wurde. Auf demselben ruht eine ebenfalls gusseiserne sehr starke Platte GH, welche Fig. 9 und 10 besonders dargestellt ist. In dieser Platte hängt der Stiefel NN'OO', und es ist auf derselben das eiserne Gerüste GIKH befestiget, worin die zu pressenden Gegenstände zwischen die Pressplatte EF, und die oben befestigte Platte IK zu liegen kommen. Die letztere hat oben eine starke Rippe, die bewegliche Pressplatte EF aber, welche Fig. 6, 7 und 8 besonders dargestellt ist, wird zur Verstärkung derselben unten mit zwei kreuzweise angegossenen Rippen versehen. Da bei dem Pressen des geschöpften Papieres und anderer Körper, Flüssigkeiten ablaufen, so ist die bewegliche Pressplatte, wie der Grundriss Fig. 6 zeigt, mit einer ringsherum laufenden Rinne aa'a''a''', und einem Rohre b versehen, woraus die Flüssigkeit in ein untergestelltes Gefäss ablauft. Fig. 1 bis 11. Tab. 45.

Das Kolbenrohr oder der Stiefel NN'OO' muss wie alle übrigen Theile der Maschine hinreichend stark von Gusseisen verfertigt werden; es erhält die Gestalt, welche am deutlichsten aus dem Längendurchschnitte Fig. 4 ersichtlich ist. In diesem Stiefel wird der genau abgedrehte zylindrische Kolben durch den Druck des eingepumpten Wassers aufwärts gegen die Pressplatte gedrückt. Der Kolben ist bei kleinen Pressen massiv; ist er aber sehr gross, so besteht er aus einem starken hohlen Rohre, welches oben und unten durch angeschraubte Deckel geschlossen wird. Die Liederung des Kolbens, welche Fig. 4 dargestellt ist, beruht zwar auf den Grundsätzen der *Bramah'*schen Liederung, ist jedoch auf unserer Kupfertafel verbessert nach jener Art dargestellt worden, welche bei der Abänderung des Wasserdruckwerkes zu *St. Peter* in Prag im Jahre 1829 angenommen wurde. Auf den Stiefel wird nämlich eine metallene Scheibe cc gelegt, an welche ein hohler Cylinder c'c'' von derselben Grösse wie der massive Kolben angegossen ist. In dem Raume c''d wird ringsherum Hanf oder Lederabschnitzeln eingelegt. Wird nun der Deckel durch die Schrauben bei c, c angezogen, so wird der Hanf oder die Lederabschnitte zusammengedrückt, und zugleich gegen die untere schiefe Fläche, demnach an den massiven Kolben gedrückt, und eine vollkommene Liederung bewirkt. Wenn sich aber diese Liederung durch den Gebrauch abwetzt, und das Wasser durchzulassen anfängt, so brauchen nur die Schrauben c, c wieder angezogen zu werden, um die Liederung wasserdicht zu machen. Bei dem genannten Wasserdruckwerk in Prag ist diese Liederung seit beinahe zwei Jahren im ununterbrochenen Gange, und es wurde bisher keine Erneuerung derselben erfordert.

Der Stiefel steht durch das Rohr PP'QRS mit der Saug- und Druckpumpe ST in Verbindung. Diese steht in dem Wasserkasten UU'U''U''', worüber eine starke Querplatte SS' geht, an welche die Pumpe eingehängt und angeschraubt ist, wie der Querschnitt Fig. 4 bei ee' zeigt. Durch den Seiher T werden die im Wasser enthaltenen Unreinigkeiten vom Eindringen in die Pumpe abgehalten. Das Saugventil liegt am untern Ende des Saugrohres oberhalb des Seihers. Die Kolbenstange ist im obern Theile der Saugröhre auf ähnliche Art geliedert, wie diess bei dem grossen Kolben der Fall ist. Es ist hier abermals eine Platte ff' aufgeschraubt, die den darunter eingelegten Hanf an den Kolben anpresst, und durch Schrauben angezogen werden kann.

Fig. 1 bis 11. Tab. 45. Geht der Kolben gh herab, so schliesst sich das untere Saugventil, das im Behältnisse RQ angebrachte Kegelventil x wird gehoben, und das Wasser dringt durch das Rohr QP′P in den Stiefel, von wo es nicht zurück kann, weil das Ventil x sich sogleich schliesst, wenn der Kolben hg aufgezogen wird, um neues Wasser anzusaugen. Da es möglich ist, dass das Rohr oder der Stiefel bei übermässigen Einpumpen durch den Druck des Wassers zerspringen würde, so wird auf das Behältniss RQ, Fig. 2, 3 und 5 (letztere im doppelten Masse) ein S i c h e r h e i t s v e n t i l aufgelegt. Dieses besteht aus einem bei i befestigten Hebel der zweiten Art il, welcher bei k durch einen konischen Zapfen das Wasserbehältniss RQ schliesst, und durch den Druck des bei l angehängten Gewichtes herabgedrückt wird. Der Deutlichkeit halber wurde Fig. 3 der Hebel il in der aufgehobenen und Fig. 5 in der aufruhenden Lage dargestellt. Dieses Sicherheitsventil hat den Zweck, dass in dem Falle, wenn der Druck auf die Wände, folglich auch auf das Ventil zu gross würde, der Zapfen bei k gehoben werde, und das Wasser herausdringen könne. An das Behältniss RQ ist das Rohr mn befestiget und vorn bei n mit einem Deckel zugeschraubt; wird dieser Deckel abgenommen, so gibt die Presse nach, und es wird das Wasser durch den Druck des massiven Hauptkolbens herausgedrückt, es fliesst daher aus dem Stiefel durch das Rohr PP′Qmn bei n in das grosse Behältniss UU′U″U‴ ab.

Es bleibt nun noch übrig, die Bewegung des kleinen Kolbens gh zu erklären. Diese geschieht durch den Hebel WW′. Da aber derselbe bei W aufliegt, folglich in allen übrigen Punkten Kreise beschreibt, so würde durch die Befestigung des Kolbens an den Hebel mittelst eines Stiftes bei o (Fig. 3) die Kolbenstange derselben Kreisbewegung folgen müssen, folglich durch ihre Hin- und Herbewegung kein vollkommener Schluss an die Liederung Statt finden können. Um dieses zu vermeiden, dient der Rahmen tuww′y, (Fig. 1) welcher an seinem untern Ende mit der Kolbenstange fest verbunden, und oben durch die Stütze Z geführt ist. Innerhalb dieses Rahmens befindet sich das Gehänge sro′t′o″, welches unten durch die Achse o′o″ mit dem Hebel WW′ verbunden ist, und oben mittelst der Achse w′w in den Rahmen eingehängt ist. Durch diese Vorrichtung wird die kreisförmige Bewegung von der Achse ww′ aufgenommen, und mittelst dieser Achse die Kolbenstange vollkommen senkrecht auf- und abwärts bewegt.

III. Kapitel.

Freier Ausfluss des Wassers durch Oeffnungen.

§. 101.

Die Hydraulik handelt von den Gesetzen der Bewegung der tropfbaren Flüssigkeiten, als Wasser, Weingeist, Quecksilber u. dgl. m.; und ist in dieser Hinsicht für die flüssigen Körper dasselbe, was die Mechanik für die festen Körper ist. Obwohl zu den tropfbar flüssigen Körpern auch die zähen Flüssigkeiten gerechnet werden, so müssen wir doch zur grösseren Deutlichkeit die vollkommen Flüssigen voraus-gehen lassen, und die Abweichungen, welche bei den letztern angetroffen werden, unter den Widerständen der Bewegung anführen.

Der einfachste Fall, welcher hier zuerst behandelt wird, ist der Ausfluss des Wassers durch Oeffnungen in den Wänden der Gefässe. Wenn am Boden oder in der Seitenwand eines grossen Gefässes eine kleine Oeffnung gemacht, diese mit einem Spund oder Zapfen wasserdicht verschlossen und sodann das Gefäss mit Wasser angefüllt wird, so drückt das letztere gemäss §. 14. der Hydrostatik an alle Punkte der Wände, welche seinen Abfluss hindern, mit einer Kraft, die dem Gewichte einer Wassersäule gleich ist, welche die entgegenstehende oder gedrückte Fläche zur Grundfläche und die Höhe des Wasserstandes von der Oberfläche bis zum Mittelpunkte der Oeffnung zur Höhe hat. Wird dieser Spund oder Zapfen herausgezogen, oder die den Ausfluss hindernde Fläche weggenommen, so strömt das Wasser mit derselben Kraft aus, mit welcher es vorher an den Spund, der seine Bewegung aufgehalten hat, angedrückt wurde. Die ausfliessende Wassermenge ist demnach um so grösser, je grösser die geöffnete Fläche und je höher der Wasserstand über der Oeffnung ist, bis zu welchem das Gefäss angefüllt war. Um ein bestimmtes Mass für diesen Ausfluss anzugeben, wollen wir die Fläche der Oeffnung oder die Querschnittsfläche des Wasserstrahles $= f$ und die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers oder den Raum, wie weit sich dasselbe gleichförmig oder in der angenommenen Richtung in 1 Sekunde von der Oeffnung entfernt $= c$ setzen, so leuchtet von selbst ein, dass die in jeder Sekunde ausfliessende Wassermenge so gross sey, als der kubische Inhalt eines Prisma oder zylindrischen Körpers, welcher die Querschnittsfläche f des ausfliessenden Wasserstrahles zur Grundfläche und die Geschwindigkeit c zur Höhe oder Länge hat. Wenn demnach das Wasser bei unveränderter Geschwindigkeit durch eine Zeit von t Sekunden auszulaufen fortfährt, so wird die während dieser Zeit ausfliessende Wassermenge $M = f.c.t$ seyn.

Fig. 1 und 2. Tab. 46.

§. 102.

Da die Messung der Fläche der Ausflussöffnung nach den Regeln der Geometrie vorgenommen wird und keinen Anständen unterliegt, so handelt es sich nur noch um die Bestimmung der Geschwindigkeit c. Hierzu dienen vorzüglich 3 Methoden: die **erste Methode** wurde von *Torricelli* versucht. Derselbe brachte nämlich an der Seite eines Fig. 3. Tab. 46. Gefässes ein horizontales kurzes Rohr und in demselben eine kleine aufwärts gerichtete Oeffnung a an, und beobachtete, dass der aufsteigende Wasserstrahl beinahe dieselbe Höhe erreichte, bei welcher der Wasserspiegel im Gefässe stand. Da nun hier das Wasser als ein schwerer, durch den Druck des im Gefässe befindlichen Wasserstandes in die Höhe geworfener Körper betrachtet werden kann, so muss es auch den Gesetzen, welche wir hierüber im VI^ten Kapitel der Mechanik fester Körper aufgestellt haben, folgen. Wird nämlich ein schwerer Körper senkrecht in die Höhe geworfen, oder über die schiefe Fig. 7. Tab. 28. Fläche A C von A aus herabgelassen, so steigt derselbe an der andern Seite auf die gleiche Höhe $EG = JC = AI$, von welcher er herabgelaufen war. Da nun die Geschwindigkeit, welche der Körper durch den freien Fall oder durch das Herablaufen über die schiefe Fläche von der Höhe $AI = JC = EG = h$ erhält, nach §. 512. $= 2\sqrt{g.h}$ ist, so folgt, dass auch die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser bei a aus dem Gefässe ausgetreten ist $= 2\sqrt{g.mn} = 2\sqrt{g.h}$ seyn müsse *)

Die Ursache, warum das Wasser die Höhe des Wasserspiegels im Gefässe nicht erreicht, liegt in mehreren Umständen, wovon der Widerstand der Luft und die Reibung an den Wänden der Ausflussröhre die vorzüglichsten sind. Man hat gefunden, dass das Wasser höher steigt, wenn der Strahl dicker ist und wenn er nicht vollkommen senkrecht in die Höhe geht, demnach das aufsteigende Wasser durch dasjenige, welches wieder

*) Man hat gegen diese Vergleichung eingewendet, dass die schweren Körper im freien Falle oder bei dem Herablaufen über schiefe Flächen nur nach und nach beschleunigt werden und bei dem freien Falle die Geschwindigkeit c erst nach Verlauf der Zeit $t = \sqrt{\frac{h}{g}}$ erhalten, wogegen aber das Wasser im Gefässe ruhig steht und die Geschwindigkeit erst in der Oeffnung plötzlich erhalten müsse, folglich der Umstand wegen dieser ungleichen Wirkungsart noch einer Aufklärung bedürfe. Zu dieser Absicht wollen wir annehmen, dass ein Wassertheilchen M während der kurzen Zeit seiner Beschleunigung oder seines Aufenthaltes in der Oeffnung den Raum α zurücklege. Wenn f die Querschnittsfläche dieses Theilchens ist, so können wir $M = f.\alpha$ setzen und die Geschwindigkeit dieses Theilchens am Ende des Raumes α nach den bekannten Gesetzen, welche für die Beschleunigung aller Körper im VI^ten Kapitel der Mechanik angegeben wurden, suchen. Nennen wir das Gewicht eines Kubikfusses oder der zum kubischen Masse angenommenen Einheit $= \gamma$, so ist $\gamma.M$ das Gewicht dieses Theilchens und auf gleiche Art ist auch das Gewicht der darauf drückenden, die Beschleunigung bewirkenden Wassersäule $= \gamma.f.h$. Wir haben sonach: das Gewicht des Theilchens $(\gamma.M)$ verhält sich zur Geschwindigkeit, welche die Schwerkraft diesem Theilchen in der Zeit dt ertheilt $(2g.dt)$; eben so wie das Gewicht der beschleunigenden Kraft $(\gamma.f.h)$ zur Beschleunigung dv, welche dasselbe Theilchen von der beschleunigenden Kraft erhält, oder $\gamma.M : 2g.dt = \gamma f.h : dv$ und wenn wir $dt = \frac{ds}{v}$ setzen, $M : 2g \cdot \frac{ds}{v} = f.h : dv$. Daraus folgt $M.v^2 = 4g.f.hs$, folglich haben wir am Ende des Raumes α, wo nämlich $s = \alpha$ wird, die Geschwindigkeit $v = 2\sqrt{g.h \cdot \frac{f.\alpha}{M}} = 2\sqrt{g.h}$.

zurückfällt, in seiner Bahn nicht verhindert wird. Wenn man daher bei diesem Versuche den Wasserstrahl etwas schief ausströmen lässt, so steigt das Wasser beinahe auf die Höhe h und wir können $c = 2\sqrt{g \cdot h}$ setzen. — *Toricelli* war der erste, welcher in seiner im J. 1644 erschienenen Abhandlung „*Del moto dei gravi*" den Satz, dass sich die Geschwindigkeiten, wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen verhalten, aufstellte.

§. 103.

Eine zweite Art die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers zu bestimmen, lässt sich aus dem Masse des horizontalen Raumes und der Tiefe des Ortes ableiten, wo der ausfliessende Wasserstrahl auffällt. Da die Wassertheile schwer sind, demnach bei ihrer freien Bewegung den Gesetzen der Schwere unterliegen, so beschreibt das ausfliessende Wasser dieselbe parabolische Bahn, die wir für alle schweren Körper im VI^ten Kapitel der Mechanik umständlich angegeben und den Ort des geworfenen Körpers für jede Zeit zu berechnen gelehrt haben. Nennen wir nämlich die Geschwindigkeit, womit das Wasser aus der Oeffnung fliesst $= c$, so würde dasselbe, wenn die Schwere keine Wirkung auf den Wasserstrahl hätte, sich in der horizontalen Linie AB fortbewegen und in der Zeit t den Raum $AB = b = c \cdot t$ beschreiben. Weil aber die Schwere auf den Strahl wirkt, so wird derselbe in der gleichen Zeit t um den Raum $AE = a = g \cdot t^2$ senkrecht herabgezogen. Da man nun für den Ort N, wo der Strahl nach t Sekunden auffällt, sowohl den horizontalen Raum $AB = EN = b$ als auch die Tiefe $AE = a$ messen kann, so lässt sich hieraus sowohl die Zeit t, in welcher der Bogen AN beschrieben wird, als auch die Geschwindigkeit c, mit welcher das Wasser bei A aus dem Gefässe ausfloss, berechnen. Es ist nämlich $t = \sqrt{\frac{a}{g}}$ und substituirt, $c = \frac{b}{t} = b \cdot \sqrt{\frac{g}{a}}$, woraus $\frac{c^2}{4g} = \frac{b^2}{4a}$ folgt. Wenn man daher das Quadrat der horizontalen Entfernung durch die vierfache Fallhöhe dividirt, erhält man die Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{4g}$, welche immer der Druckhöhe oder der Wasserstandshöhe über der Mitte der Ausflussöffnung beinahe gleich ist.

Fig. 4. Tab. 46.

Um hierüber ein Beispiel zu geben, wird in den Vorlesungen am technischen Institute zu Prag ein mit Wasser angefülltes kupfernes Gefäss gezeigt, in welchem 4 Oeffnungen m, n, o, p auf verschiedenen Höhen angebracht sind. Die unterste Oeffnung befindet sich 15 Zoll $= \frac{5}{4}$ Fuss unter der Oberfläche des Wassers. Dieses Gefäss wird auf ein Stativ in eine horizontale Wanne gestellt, in welcher ein, in Zolle und Linien getheilter Masstab zur Messung der Sprungweite angebracht ist. Die Tiefe des Masstabes unterhalb der untersten Oeffnung des Gefässes beträgt 6 Zoll 11 Linien. Wird nun der Zapfen aus dieser Oeffnung herausgezogen, so fällt der Strahl auf dem Masstabe in der Entfernung von 16,5 Zoll auf, welche aber nach Massgabe des Wasserausflusses und der dadurch verminderten Druckhöhe immer geringer wird. Wir haben daher für den Anfang des Ausflusses $a = 6'' 11'''$ und $b = 16{,}5''$, woraus $h = \frac{b^2}{4a} = 9{,}84'' = 9'' 10'''$ folgt, wogegen im Versuche die Höhe des Wasserstandes $h = 11'' 9'''$ gefunden wurde. Nachstehende Tabelle

Fig. 5.

enthält die Resultate der Versuche mit dem beschriebenen Modelle, welche sich bei dem Ausflusse des Wassers auf den verschiedenen Höhen ergaben:

Nr.	Entfernung b	Höhe a	Berechnete Geschwindigkeits-Höhe $\frac{b^2}{4a}$	Höhe des Wasserstandes h
1.	16″ 6‴	6″ 11‴	9″ 10‴	11″ 9‴
2.	17″ 6″	10″ 5‴	7″ 4‴	8″ 4‴
3.	15″ 0‴	13″ 10‴	4″ 1‴	4″ 10‴
4.	7″ 6‴	17″ 4‴	0″ 10‴	1″ 4‴

Man ersieht hieraus, dass der Unterschied der berechneten Geschwindigkeitshöhe $\frac{b^2}{4a}$ von der wahren Druckhöhe h um 0,5 bis beinahe 2 Zoll abweicht, welches wie im vorigen §. angeführt wurde, theils von dem Widerstande der Luft und theils von jenem Widerstande herrührt, welchen das ausfliessende Wasser an der Peripherie der Oeffnung erfährt; der letzte hat bei so kleinen Gefässen immer ein bedeutenderes Verhältniss, als wenn die Versuche mit grösseren Gefässen und grössern Oeffnungen angestellt werden, wie es aus den nachfolgenden Erklärungen über den Ausfluss des Wassers durch Röhren deutlicher werden wird. Wir können demnach auch aus den Versuchen dieser Art zur Bestimmung der Geschwindigkeit c bei der Druckhöhe h die Gleichung $c = 2\sqrt{g \cdot h}$ folgern.

§. 104.

Eine **dritte** Methode die Geschwindigkeit des aus einem Gefässe ausfliessenden Wassers zu finden, besteht darin, dass man die Wassermenge M, welche in der bestimmten Zeit t durch die Oeffnung f ausfliesst, in einem Gefässe auffängt und den kubischen Inhalt derselben misst. Wird diese Wassermenge M mit f.t dividirt, so sollte man hieraus nach der Gleichung $c = \frac{M}{f.t}$ dieselbe Geschwindigkeit c wie bei den frühern zwei Methoden finden. Man hat jedoch bei einem jeden Versuche dieser Art ein sehr abweichendes Resultat erhalten *)

*) Bei dem Ausflusse des Wassers aus einem Gefässe sind zwei Gegenstände zu berücksichtigen: Itens, **die Bewegung des Wassers innerhalb des Gefässes und die Bahn, auf welcher das Wasser zur Oeffnung geleitet wird.** IItens, **die Bewegung bei dem Austritte des Wassers oder ausserhalb der Oeffnung des Gefässes.**

I. Um das Erstere hinlänglich zu erklären, müssen wir vorläufig über die allgemeinen Gesetze der Bewegung des Wassers und der übrigen Flüssigkeiten in Röhren und Flussbetten noch folgende analytische Betrachtungen vorausschicken:

Zur Erklärung dieses auffallenden Unterschieds hat *Newton* zuerst die Gestalt des ausfliessenden Wasserstrahles näher untersucht und gefunden, dass derselbe sich ausser-

Wenn das von den Wänden eines Gefässes oder von dem Grundbette eines Flusses umschlossene Wasser aus einem weitern Querschnitte A′A gegen einen engern B′B hinfliesst, so wird die Bewegung der Wassertheile offenbar durch die Form der Wände des Gefässes in der Art bedingt, dass nicht nur die den Wänden zunächst anliegenden Wassertheile bei ihrer Bewegung diesen Wänden folgen müssen, sondern auch die weiter entfernten durch analoge Bewegungen in ihrer geradlinigten Bahn abgelenkt, und durch die engern Querschnitte mit einer grössern Geschwindigkeit durchzufliessen genöthigt werden, als denselben nach den allgemeinen Gesetzen der Schwere zukommen würde. Weil wir aber das Wasser bisher noch als vollkommen flüssig betrachten, und auf die Widerstände, welche dasselbe von Seite der ruhenden Wände der Gefässe und von der verschiedenen Geschwindigkeit der in Bewegung befindlichen Wassertheile erfährt, hier noch keine Rücksicht nehmen, so ergibt sich von selbst, dass der Verlust, den einige Theile an ihrer Bewegung erleiden, durch den wechselseitigen Druck den übrigen Theilen mitgetheilt werde, folglich von der ganzen Bewegung, welche die Schwere an und für sich den Wassertheilen gibt, bei der Bewegung durch Gefässe nichts verloren gehen könne, sondern in der Summe aller Bewegungen beim Ausflusse des Wassers aus dem Gefässe vorfindig seyn müsse. Fig. 6. Tab. 46.

Wir wollen nun die Bewegung eines Theilchens d M insbesondere betrachten und annehmen, dass die Bahn, welche das Theilchen im Gefässe zwischen den übrigen beschreibt, durch die Linie a m n e vorgestellt werde. Die Geschwindigkeit dieses Theilchens sey in $m = v$, in $n = v' \ldots\ldots$, und die Querschnittsfläche dieses Theilchens in $m = z$, in $n = z' \ldots\ldots$ Der Kubikinhalt des Theilchens d M ist demnach in $m = z . v . dt$, in $n = z' . v' . dt \ldots\ldots$ Da das Wasser als unzusammendrückbar angenommen wird, folglich das Element d M an jeden Orte der Bahn dieselbe Grösse behalten muss, so haben wir $dM = z . v . dt = z' . v' . dt \ldots\ldots$ Hieraus folgt $z . v = z' . v' = \ldots\ldots$ oder wenn wir die Gleichung $z . v = z' . v' \ldots\ldots$ in eine Proporzion auflösen, so erhalten wir $z : z' = v' : v = \ldots\ldots$ oder die Geschwindigkeiten stehen im umgekehrten Verhältnisse der Querschnittsflächen. Diese Satz ist bereits in mehreren Schriften angeführt und überhaupt bei dem Abflusse des Wasser sowohl durch Röhrenleitungen als in Flussbetten allgemein angenommen worden.

Für die Beschleunigung, welche das Wasser auf der schiefen Fläche durch den Raum $mn = ds$ erfährt, wollen wir die Ordinate a′m für den Punkt $m = y$ und die Abscisse $aa' = x$, eben so die Ordinate an dem Punkte n oder $a''n = y' = y + dy$ setzen, sonach haben wir $on = dy$, $mo = dx$ und $mn = ds$. Setzen wir nun das Gewicht des Theilchens $dM = ml$, und die beschleunigende Kraft nach der Richtung seiner Bahn $= mk$, so haben wir: das Gewicht des Theilchens d M oder m l zur beschleunigenden Kraft nach der Richtung der Bahn m k wie $ml : mk$, und wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke m n o und m l k ist $ml : mk = ds : dy$ Daraus folgt die beschleunigende Kraft nach der Richtung der Bahn $mk = dM . \frac{dy}{ds}$. Nach den Gesetzen der Beschleunigung durch die Schwere haben wir $dM : 2g . dt = dM . \frac{dy}{ds} : dv$ oder wenn wir statt d s den Werth v . d t setzen, und multipliziren, $\frac{v . dv}{2g} = dy$. Auf gleiche Art folgt für die weitere Beschleunigung von n abwärts $\frac{v' . dv'}{2g} = dy'$ und eben so $\frac{v'' . dv''}{2g} = dy'' \ldots$

Dieses sind die Gleichungen, denen die Bewegung der Theile folgen muss, wenn ihre Beschleunigungen bloss nach den allgemeinen Gesetzen der Schwere ohne Rücksicht auf die oben angeführten Widerstände geschehen; weil aber bei der gemeinschaftlichen Bewegung des Wassers in Gefässen die Summe der Kräfte der Summe der Beschleunigungen gleich ist, so können wir diese Gleichungen addiren, und wir haben:

halb der Oeffnung zusammenzieht und dass sonach die aus einem Gefässe wirklich ausfliessende Wassermenge nur aus der Fläche des zusammengezogenen Strahles zu be-

Fig. 6. Tab. 46. $dy + dy' + dy'' + \ldots\ldots = \frac{v.dv}{2g} + \frac{v'.dv'}{2g} + \frac{v''.dv''}{2g} + \ldots\ldots$ und wenn wir diese Reihe von a bis e fortsetzen, so haben wir den allgemeinen Satz, dass die ganze Höhe der Linie A A' über B B' oder y der Summe der Vermehrungen der Geschwindigkeitshöhen aller Elemente von a bis e gleich ist. Es wird also noch darauf ankommen, die Grössen $\frac{v.dv}{2g}, \frac{v'.dv'}{2g}, \frac{v''.dv''}{2g}, \ldots\ldots$ auf eine allgemeine Art aufzufinden und ihre Summe durch eine algebraische Gleichung anzugeben. Hierzu dient uns die oben angeführte Gleichung $z.v = z'.v' = \ldots\ldots$ Nehmen wir zur Vergleichung für irgend einen bestimmten Ort der Röhre die Querschnittsfläche $= f$ und die Geschwindigkeit $= c$ an, so haben wir $f.c = v.z = v'.z' = v''.z'' = \ldots\ldots$ Hieraus folgt $v = c.\frac{f}{z}\ldots\ldots\ldots$ Wird diese Gleichung differenzirt und dabei f als beständig angenommen, so ist

$$dv = dc\cdot\left(\frac{f}{z}\right) + c.d\left(\frac{f}{z}\right)$$

und eben so $dv' = dc\cdot\left(\frac{f}{z'}\right) + c.d\left(\frac{f}{z'}\right)$

und $dv'' = dc\cdot\left(\frac{f}{z''}\right) + c.d\left(\frac{f}{z''}\right)\ldots\ldots$ Hieraus sehen wir, dass die Aenderung der Geschwindigkeit dv sowohl von der Beschleunigung dc, welche der ganzen Masse des Wassers gemeinschaftlich zukommt, als auch von der Veränderung $d\left(\frac{f}{z}\right)$ oder von der Aenderung der Querschnittsfläche der Röhre abhängt.

Wenn wir nun in der obigen Gleichung

$dy + dy' + dy'' + \ldots\ldots = \frac{v.dv}{2g} + \frac{v'.dv'}{2g} + \frac{v''.dv''}{2g} + \ldots\ldots$ die Werthe von $dv, dv', dv''\ldots$ substituiren, so erhalten wir

$$dy + dy' + dy'' + \ldots\ldots = \frac{dc}{2g}\left\{v\left(\frac{f}{z}\right) + v'\left(\frac{f}{z'}\right) + v''\left(\frac{f}{z''}\right) + \ldots\ldots\right\} +$$
$$+ \frac{c}{2g}\left\{v\,d\left(\frac{f}{z}\right) + v'.d\left(\frac{f}{z'}\right) + v''.d\left(\frac{f}{z''}\right) + \ldots\right\}.$$

Setzen wir nun in der ersten Reihe dieser Gleichung $\frac{s}{t}$ statt v, $\frac{ds'}{dt}$ statt v', dann in die zweite Reihe $\frac{f.c}{z}$ statt v, $\frac{f.c}{z'}$ statt v', so erhalten wir

$$dy + dy' + dy'' + \ldots\ldots = \frac{dc}{2g.dt}\left(\frac{f.ds}{z} + \frac{f.ds'}{z'} + \frac{f.ds''}{z''} + \ldots\ldots\right) +$$
$$+ \frac{c^2}{2g}\left(\frac{f}{z}\cdot d\left(\frac{f}{z}\right) + \frac{f}{z'}\cdot d\left(\frac{f}{z'}\right) + \frac{f}{z''}\cdot d\left(\frac{f}{z''}\right) + \ldots\ldots\right)$$

Zur Bestimmung der Summe der ersten Reihe $\frac{f.ds}{z} + \frac{f.ds'}{z'} + \frac{f.ds''}{z''} + \ldots\ldots$ wollen wir in

Fig. 8. der Fig. 8 die Linie $AB = ds$ und $Aa = \frac{f}{z}$, dann $BC = ds'$ und $Bb = \frac{f}{z'}$ ferner $CD = ds''$ und $Cc = \frac{f}{z''}\ldots\ldots$ setzen, so ist $\frac{f.ds}{z} = AabB$, und eben so $\frac{f.ds'}{z} = BbcC\ldots\ldots$ demnach die Summe $\frac{f.ds}{z} + \frac{f.ds'}{z'} + \frac{f.ds''}{z''} + \ldots\ldots =$ der ganzen Fläche $aAUu = \int\frac{f.ds}{z}$. Auf gleiche Art ist in der zweiten Reihe $\frac{f}{z}\cdot d\left(\frac{f}{z}\right) + \frac{f}{z'}\cdot d\left(\frac{f}{z'}\right) + \frac{f}{z''}\cdot d\left(\frac{f}{z''}\right) + \ldots\ldots =$ $\int\frac{f}{z}\cdot d\left(\frac{f}{z}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{f}{z}\right)^2$. Wir haben demnach durch die Integrazion der obigen Gleichungen

$$y = \frac{dc}{2g.dt}\cdot\int\frac{f.ds}{z} + \frac{c^2}{4g}\left(\frac{f}{z}\right)^2 + \text{Konst.}$$

rechnen sey. In diesem Strahle fand *Newton* wirklich die Geschwindigkeit $c = 2\sqrt{g.h}$; demnach wird auch die Richtigkeit dieser Formel durch die dritte Methode bestätigt.

Zur Bestimmung der beständigen Grösse setzen wir den Querschnitt der Röhre im obersten Punkte $= A$, so haben wir, weil in diesem Punkte $y = 0$ und die Fläche $\int \frac{f.ds}{z} = 0$ ist, $0 = \frac{c^2}{4g}\left(\frac{f}{A}\right)^2 +$ Konst. demnach ist Konst. $= -\frac{c^2}{4g}\left(\frac{f}{A}\right)^2$. Fig. 6. Tab. 46.

Wenn wir nun das Integrale von der obersten Querschnittsfläche $A'A = A$ bis zur untersten $B'B = U$ nehmen und den Querschnitt am Ende der Röhre $z = U$ setzen, so erhalten wir $y = \frac{dc}{2g.dt} \cdot \int \frac{f.ds}{z} + \frac{c^2}{4g}\left\{\left(\frac{f}{U}\right)^2 - \left(\frac{f}{A}\right)^2\right\}$. In dieser Gleichung ist y die ganze Höhe des Gefässes $= CD = Y$ und $\frac{f.c}{U}$ die Geschwindigkeit, womit das Theilchen dM am Ende der Röhre ame nach der Richtung seiner Bahn bei e ausfliesst, die wir $= V$ setzen wollen; und eben so ist $\frac{f.c}{A}$ die Geschwindigkeit, welche das Theilchen dM am Anfange der Röhre bei a besitzt, und die wir α nennen wollen. Daraus ergibt sich $\frac{V^2}{4g} = \frac{\alpha^2}{4g} + Y - \frac{dc}{2g.dt} \cdot \int \frac{f.ds}{z}$.

Für den Beharrungsstand des Wassers, wenn nämlich dem Gefässe oben eben soviel Wasser zugeführt wird, als unten abfliesst, ist die Geschwindigkeit c an dem bestimmten Orte unveränderlich dieselbe, demnach $dc = 0$. Wir haben also für den Beharrungsstand die Geschwindigkeitshöhe des Ausflusses $\frac{V^2}{4g} = Y + \frac{\alpha^2}{4g}$, d. h. die Geschwindigkeitshöhe in der Ausflussöffnung ist = der Höhe Y des Wasserstandes ober der Oeffnung + der Geschwindigkeitshöhe an der Oberfläche des Wassers, womit dasselbe nämlich in den Wasserspiegel eintritt. Dieser Satz stimmt mit demjenigen überein, welchen wir §. 510 bei der Bewegung über schiefe Flächen gefunden und für alle krummen Linien, welche Körper durch die Schwerkraft beschreiben, bewiesen haben.

Auf gleiche Art, wie wir hier die Bewegung des Wassertheiles dM durch die Röhre amne berechnet haben, können wir nun das ganze im Gefässe $AA'B'B$ enthaltene Wasser in eine unzählige Anzahl analoger Röhren eintheilen, und für jedes Theilchen die Geschwindigkeit des Wassers in der Oeffnung $B'B$ bestimmen.

II. Weil aber die Richtungen dieser Geschwindigkeiten nicht zu einander parallel sind, sondern mit der senkrechten Linie Me einen Winkel bilden, welcher von der Gestalt des Gefässes und von der krummen Linie, die das Element dM zwischen den übrigen flüssigen Theilen von a bis e beschreibt, abhängig ist, so müssen wir noch die Bewegung des Wassers ausserhalb der Oeffnung BB' (Fig. 6) oder im freien Raume von e bis u untersuchen, und dadurch den 2ten Theil der im Eingange aufgestellten Frage beantworten. Fig. 7.

Zu dieser Absicht sey epqu die Fortsetzung der Bahn amne, welche nämlich das Wassertheilchen dM ausserhalb des Gefässes beschreibt, die Geschwindigkeit in e sey wie zuvor $= V$, die Geschwindigkeit in $p = v$, der Raum $pq = ds$ und der Winkel qpu', den nämlich die Bahn mit der senkrechten Linie macht $= \lambda$. Die Coordinaten der krummen Linie seyen $e'p = y$ und $ee' = x$.

Da das Element dM in p von der Schwere nach der senkrechten Richtung herabgezogen wird, so wollen wir das Gewicht dM desselben durch die Senkrechte pO vorstellen, und diese Kraft in zwei andere, nämlich in $pP = dM.\mathrm{Cos}\,\lambda$ nach der Richtung der Bahn, und in $pQ = dM.\mathrm{Sin}\,\lambda$ nach der winkelrechten Richtung auf die Bahn zerlegen. Demnach geben uns die allgemeinen Gesetze der beschleunigten Bewegung $dM : 2g.dt = dM.\mathrm{Cos}\,\lambda : dv$. Setzen wir statt dt den Werth $\frac{ds}{v}$, so erhalten wir die Beschleunigung $dv = 2g.\frac{ds}{v}.\mathrm{Cos}\,\lambda$, weil aber $ds.\mathrm{Cos}\,\lambda = dy$ ist, so folgt $v.dv = 2g.dy$ und hieraus $v^2 = 4g.y +$ Konst. Zur Bestimmung der Konstanten wissen wir, dass in der Oeffnung $B'B$ die Abscisse $y = 0$ ist und die Geschwindigkeit $v = V$ werden muss, also

Newton (*philosophiae naturalis principia mathematica lib. II. propositio XXXVI*) fand die Dicke des Wasserstrahles, welcher aus einer $^5/_8$ Zoll weiten vertikalen Oeffnung

Fig. 7. Tab. 46. ist $v^2 = V^2 + 4g.y$ oder $\frac{v^2}{4g} = \frac{V^2}{4g} + y$, d. h. im Beharrungsstande ist die Geschwindigkeitshöhe in jedem Punkte der Bahn der ganzen Gefällshöhe von dem Punkte, wo die Bewegung des Wassertheilchens anfängt, bis zu dem Punkte p, wo sich das Theilchen befindet, gleich. Demnach wird die Geschwindigkeitshöhe in der Querschnittsfläche der grössten Zusammenziehung, wo die Richtungen der Bewegung zu einander parallel werden, der ganzen Gefällshöhe von der Oberfläche des Wasserstandes bis zur Querschnittsfläche des zusammengezogenen Wasserstrahls gleich seyn, so wie es die im Texte angeführten hierüber angestellten Versuche gelehrt haben.

Wir kommen nun zur Bestimmung der Bahnlinie, welche das Element dM ausserhalb des Gefässes beschreibt. Hierzu dient vorläufig die allgemeine Bemerkung, dass ein jeder in Bewegung befindliche Körper nur von denjenigen Kräften beschleunigt wird, deren Richtungen in der Bahn des bewegten Körpers liegen, diejenigen Kräfte aber, deren Richtungen mit der Bahn einen rechten Winkel machen, von beiden Seiten gleich seyn und einander aufheben müssen; denn wäre der Druck von einer Seite stärker als von der andern, so würde der bewegte Körper dem grösseren Drucke nachgeben und von der angenommenen Bahnlinie abweichen müssen. Der schiefen Richtung, womit die Wassertheile von der Peripherie der Oeffnung des Gefässes gegen die Mitte des Strahles fliessen, und womit die Theile des Strahles eigentlich zusammengehalten werden, wirkt von Seite der innern Wassertheile vermöge ihrer Inkompressibilität eine Kraft entgegen, welche die äussern Wassertheile nöthiget, von ihrer Richtung abzugehen, und die krumme Bahnlinie epqu zu beschreiben. Wir wollen demnach zuerst den Druck der äussern Wassertheile gegen die innern untersuchen.

Fig. 9. Ein jeder Körper, welcher von der geraden Richtung seiner Bahn abgelenkt wird, und aus der geraden pq′ in die krumme Linie pq übertreten soll, bedarf einer Kraft, welche ihn nöthiget, in derselben Zeit, in welcher mit freier Bewegung der Raum $pq' = v.dt$ zurückgelegt wurde, zugleich den Raum pp′ zurückzulegen. Diese Kraft, die wir K nennen wollen, ergibt sich aus dem allgemeinen Satze, dass die Kräfte den Wirkungen proporzional sind, und weil hier die Räume zu berücksichtigen sind, so ist $dM : g.dt^2 = K : pp'$. Daraus folgt die Kraft $= \frac{dM}{g.dt^2} \cdot pp'$. Wenn wir nun durch den Bogen pq einen Kreis beschreiben, und den Durchmesser dieses Kreises $pw = 2r$ setzen, so folgt nach der Theorie des Kreises $pp' : pq = pq : pw$ oder $2r$, und weil $pq = v.dt$ ist, so erhalten wir $pp' = \frac{v^2.dt^2}{2r}$ und wenn dieser Werth in die obige Gleichung substituirt wird, so ergibt sich die Kraft $K = dM \cdot \frac{v^2}{2g.r}$. Hiervon müssen wir den Druck $dM.\text{Sin}\,\lambda$ abziehen, welchen nämlich das Element durch sein Gewicht nach Aussen ausübt, dadurch erhalten wir die Kraft $dM \cdot \left(\frac{v^2}{2g.r} - \text{Sin}\,\lambda\right)$. Mit dieser Kraft drücken die äusseren Theile an die innern und diese drücken eben so stark zurück. Für das Gleichgewicht flüssiger Massen ist aber nöthig, dass nicht bloss die ganzen Elemente dM, sondern jeder Punkt ihrer Basis mit einer gleichen Kraft drücken müsse; wenn wir also den Druck $dM.\left(\frac{v^2}{2g.r} - \text{Sin}\,\lambda\right)$ mit seiner Basis ds oder $v.dt$ dividiren, so erhalten wir die Höhe einer Wassersäule, welche in der ganzen Bahn epqu (Fig. 7) dieselbe Grösse haben muss. Setzen wir nun für den untersten Punkt des zusammengezogenen Wasserstrahles in u die Geschwindigkeit $v = \gamma$ und den Krümmungshalbmesser an demselben Orte $r = \rho$, statt ds die Grösse $\gamma.dt$, und da in diesem Punkte der Strahl bereits in der senkrechten Richtung herabfliesst $\text{Sin}\,\lambda = 0$, so ist die Höhe der Wassersäule, welche den Druck der äussern Theile gegen die innern in u vorstellt

ausströmte, auf der Entfernung von $^{1}/_{2}$ Zoll von der Oeffnung $= \frac{21}{40}$ Zoll. Hiernach verhält sich die Fläche der Oeffnung zur Fläche des zusammengezogenen Wasserstrahls $= \left(\frac{5}{8}\right)^2 : \left(\frac{21}{40}\right)^2 = 1 : 0{,}7056$.

$= \frac{dM}{\gamma . dt}\left(\frac{\gamma^2}{2g.p}\right) = \frac{dM.\gamma}{2g.p.dt}$. Weil diese Druckhöhe für alle Punkte der Bahn eine gleiche Grösse haben muss, so haben wir die Gleichung $\frac{dM}{\nu . dt}\left(\frac{\nu^2}{2g.r} - \text{Sin}\,\lambda\right) = \frac{dM.\gamma}{2g.p.dt}$ oder wenn diese Gleichung mit $\frac{\nu . dt}{dM}$ multiplizirt wird, $\frac{\nu^2}{2g.r} - \text{Sin}\,\lambda = \frac{\gamma . \nu}{2g.p}$. Setzen wir die Geschwindigkeitshöhe im zusammengezogenen Strahl $\frac{\gamma^2}{4g} = h$, so ist, wenn wir die Ordinate $pu' = \eta$ setzen, die Geschwindigkeitshöhe für den Punkt p offenbar $= h - \eta = \frac{\nu^2}{4g}$, demnach ist $\frac{\gamma . \nu}{2g} = 2\sqrt{h(h-\eta)}$. Diese Werthe in die obige Gleichung gesetzt, geben $2\left(\frac{h-\eta}{r}\right) - \text{Sin}\,\lambda = \frac{2\sqrt{h(h-\eta)}}{p}$. Die Bestimmung des Krümmungshalbmessers gibt die bekannte Proporzion $1 : d\lambda = r : ds$, daraus folgt $r = \frac{ds}{d\lambda} = \frac{ds . \text{Cos}\,\lambda}{d\lambda . \text{Cos}\,\lambda} = \frac{d\eta}{d\,\text{Sin}\,\lambda}$. Die Substituzion dieses Werthes gibt

$2(h-\eta)\frac{d\,\text{Sin}\,\lambda}{d\eta} - \text{Sin}\,\lambda = \frac{2\sqrt{h(h-\eta)}}{p}$; wenn wir beide Glieder dieser Gleichung mit $\frac{d\eta}{2\sqrt{(h-\eta)}}$ multipliziren, so erhalten wir $d\,\text{Sin}\,\lambda . \sqrt{(h-\eta)} - \frac{\text{Sin}\,\lambda . d\eta}{2\sqrt{(h-\eta)}} = \frac{d\eta . \sqrt{h}}{p}$. Das vollständige Integral dieser Gleichung ist $\text{Sin}\,\lambda . \sqrt{(h-\eta)} = \frac{\eta . \sqrt{h}}{p}$; demnach $\text{Sin}\,\lambda = \frac{\eta}{p}\sqrt{\frac{h}{h-\eta}}$. Wenn wir in dieser Gleichung die Grösse $\frac{\eta}{h}$, welche in jedem Falle sehr klein ist, vernachlässigen, so erhalten wir $\text{Sin}\,\lambda = \frac{\eta}{p}$, folglich ist die krumme Linie p u ein **Kreis**, dessen Halbmesser die Grösse p ist. Fig. 7 Tab. 46.

Wenn die **Oeffnung in der Seitenwand** angebracht ist, und ein horizontaler Querschnitt durch die Mitte der Oeffnung oder durch die Mitte des Strahles gemacht wird, so ist die Geschwindigkeitshöhe des Wassers $\frac{\nu^2}{4g}$ für jeden Punkt dieses Querschnittes der Höhe des Wasserstandes h oberhalb diesem Querschnitte gleich, folglich die Geschwindigkeit ν des Wassers durch den ganzen Weg von der Oeffnung bis zur grössten Zusammenziehung eine beständige Grösse, demnach wird auch die Schwungkraft $\frac{dM . \nu^2}{2g . r}$ eine beständige Grösse seyn, folglich die krumme Linie des ausfliessenden Wasserstrahles wegen der Unveränderlichkeit des Krümmungshalbmessers r ein **Kreis** seyn müssen. Im vertikalen Querschnitte wird das Wasser oben, in der Mitte, und unten gleich viel abwärts beschleunigt, sonach der ganze Kreis des zusammengezogenen Wasserstrahles nur um diese Beschleunigung herabgedrückt, und daher an der Gestalt des zusammengezogenen Strahles nichts verändert werden. Wir können demnach diese gemeinschaftliche vertikale Bewegung, welche die Schwere in der kurzen Zeit, in welcher der Strahl von der Oeffnung bis zum zusammengezogenen Strahl fliesst, bewirkt, von der gesammten Bewegung aller Theile abziehen, und so wird uns für den ausfliessenden Strahl dieselbe kreisförmig gebogene Gestalt übrig bleiben.

Die **Grösse des Halbmessers** p lässt sich nach den oben angeführten Erfahrungen bestimmen, wenn wir den Halbmesser der Oeffnung $DB = e$ und den Halbmesser des zusammengezogenen Strahls $db = \varepsilon$ setzen; demnach ist die Fläche der Oeffnung $= \pi . e^2$ und die Fläche des zusammengezogenen Strahls $= \pi . \varepsilon^2$. Nach der Erfahrung verhält sich $\pi . e^2 : \pi . \varepsilon^2 = 100 : 62$; daraus folgt $\varepsilon = e\sqrt{0{,}62} = 0{,}787\,e$, demnach ist $bW = e - \varepsilon = 0{,}213\,e$. Bei dem Versuche, welchen *Newton* in der 36ten Proposizion des 2ten Buches der *Phil. nat.* anführt, war der Halb- Fig. 10.

Nebst *Newton* haben über diesen Gegenstand viele andere Schriftsteller, als *Poleni*, *Daniel Bernoulli*, *du Buat*, *Bossut*, *Langsdorf*, *Vince*, *Michelotti*, *Hachette* und *Eytelwein* Versuche gemacht, und auf diese Art gefunden, wie gross die ausfliessende Menge für eine jede Gattung Oeffnungen sey.

§. 105.

Der einfachste hierher gehörige Fall tritt dann ein, wenn die Ausflussöffnung in einer dünnen Wand oder metallenen Platte angebracht ist, sonach die Richtung des ausfliessenden Wassers mit dieser Platte einen rechten Winkel bildet. Die Zusammenziehung beträgt hier am meisten und da Versuche dieser Art am leichtesten anzustellen sind, so besitzen wir auch die meisten über diesen Fall.

Der Abbé *Bossut* führt im II. Bande seiner im Jahre 1787 erschienenen Hydrodynamik §. 449 und ff. mehrere Versuche an, welche derselbe über den Ausfluss des Was-

Fig. 10. Tab. 46. messer der Oeffnung $e = \frac{5}{16}$ Zoll, und die Entfernung des zusammengezogenen Wasserstrahles von der Oeffnung beinahe $= \frac{1}{2}$ Zoll, also $D\,d$ oder $B\,W = \frac{8}{5}\,e$. Nach *Eytelwein's* Handbuch der Hydraulik §. 95 Seite 97, 2te Auflage ist die Entfernung der Fläche des zusammengezogenen Wasserstrahls von der Ausflussöffnung etwas grösser als der Halbmesser der Ausflussöffnung. Wir können demnach diese Entfernung $B\,W = 1\frac{1}{9}\,e$ setzen. Dadurch erhalten wir in dem rechtwinkeligen Dreiecke $B\,W\,R$ die Gleichung $B\,R^2 = B\,W^2 + W\,R^2 = B\,W^2 + (b\,R - b\,W)^2$ oder

$$p^2 = \left(\frac{10\,e}{9}\right)^2 + (p - 0{,}213\,e)^2;$$ hieraus folgt der Halbmesser der Krümmung des Strahles

$p = 3\,e$ sehr nahe.

In der Ausführung lässt sich dieses am leichtesten auf folgende Art verzeichnen: Wenn die Oeffnung $B\,B'$ gegeben ist, so trage man aus der Mitte D der Oeffnung die winkelrechte $D\,d = \frac{10}{9}\,D\,B$ auf, und ziehe durch d eine Parallele $b'\,R$ zu der Fläche der Oeffnung. Wird nun der Halbmesser $B\,R = \frac{3}{2}\,B\,B'$ genommen und aus R der Kreis $B\,b$ beschrieben und eben so auf der andern Seite, so erhält man die Gestalt des ausfliessenden Wasserstrahls. Erhält daher eine Ansatzröhre diese Gestalt, so wird das Wasser durch dieselbe durchaus voll fliessen, und wir erhalten dadurch den wichtigen Vortheil, dass wir bei der Bewegung des Wassers durch Röhrenleitungen, dieselben in allen Theilen als vollkommen angefüllt betrachten können, wenn sie mit solchen Einflussöffnungen versehen sind. Herr *Eytelwein* hat der Ansatzröhre nur

Fig. 11. die Gestalt eines abgestutzten Kegels $a\,b\,f\,e$ gegeben, das Verhältniss $a\,b : e\,f = 5 : 4$, folglich das Verhältniss der Querschnittsflächen wie $100 : 64$ angenommen, und dabei gefunden, dass die ausfliessende Wassermenge sich zur hypothetischen $2\,f\,.\,t\sqrt{g\,.\,h}$ verhielt wie $0{,}9672 : 1$ oder beinahe wie $30 : 31$ also beide beinahe einander gleich waren. Der Unterschied, den Herr *Eytelwein* den scharfen nicht abgerundeten Ecken beizumessen glaubte, liegt offenbar in dem Umstande, dass das Wasser der geraden Linie der Wände dieser konischen Röhre nicht genau folgen konnte, sondern noch innerhalb dieser Ansatzröhre eine Zusammenziehung statt gefunden hat.

Die im Texte angeführte Beobachtung, dass die Zusammenziehung bei grössern Druckhöhen mehr als bei kleinern beträgt, lässt sich nach unserer Theorie leicht aus dem Umstande erklären, weil die Wassermenge $d\,M$, welche in der Zeit $d\,t$ durch jeden Querschnitt durchfliesst, aus der Gleichung $d\,M = f\,.\,v\,.\,d\,t$ bestimmt wird. Hieraus folgt $f = \frac{d\,M}{v\,.\,d\,t}$, da aber $v = 2\sqrt{g\,.\,h}$ ist, demnach bei einer grössern Druckhöhe auch grösser wird, so muss der Querschnitt f in diesem Falle kleiner werden, oder das Wasser zieht sich bei grössern Druckhöhen in einen kleinern Querschnitt zusammen. Hieraus ersehen wir auch, dass die Querschnittsfläche des zusammengezogenen Strahles, welche nach den obigen Beobachtungen $= 0{,}62$ angenommen wird, keineswegs als eine beständige Zahl angesehen werden darf, wovon wir bei dem Ausflusse des Wassers durch gänzlich offene Seitenöffnungen §. 109 noch umständlicher handeln werden.

sers aus Oeffnungen in kupfernen Platten von ½ Linie Dicke anstellte. Das Gefäss, an welchem diese Platten angebracht wurden, war 12 par. Fuss hoch, 3 par. Fuss breit und eben so lang. Die Resultate seiner Versuche sind in der folgenden Tabelle enthalten, in welcher wir die vorletzte Kolumne nach der Gleichung $M = f.t.2\sqrt{g.h}$ berechnet und hierbei für Paris $g = 15{,}098$ par. Fuss, dann das Verhältniss der Peripherie zum Durchmesser $\pi = 3{,}1416$ gesetzt haben. Das Verhältniss der, für die volle Ausflussöffnung berechneten Wassermenge zu der wirklich ausgeflossenen ist in der letzten Kolumne ersichtlich.

Fortlaufende Nummer.	Druckhöhe über der Mitte der Oeffnung in par. Mass.	Gestalt und Grösse der Oeffnung.	Lage der Oeffnung.	Beobachtete Ausflussmenge in par. Kub. Zollen in 1 Min.	Berechnete Wassermenge in par. Kub. Zollen in 1 Min.	Verhältniss der berechneten Wassermenge zur beobachteten.
1.	11 Fuss 8 Zoll 10 Lin.	Kreis von 6‴ im Durchmesser	horizontal	2311	3764	1 : 0,6140
2.	detto	„ „ 1″ „ „	„	9281	15055	1 : 0,6165
3.	detto	„ „ 2″ „ „	„	37203	60219	1 : 0,6178
4.	detto	Rechteck 1″ lang 3‴ breit	„	2933	4792	1 : 0,6121
5.	detto	„ 1″ „ 1″ „	„	11817	19168	1 : 0,6165
6.	detto	„ 2″ „ 2″ „	„	47361	76673	1 : 0,6177
7.	9 Fuss	Kreis von 6‴ im Durchmesser	vertikal	2018	3296	1 : 0,6123
8.	9 „	„ „ 1″ „ „	„	8135	13184	1 : 0,6170
9.	4 „	„ „ 6‴ „ „	„	1353	2197	1 : 0,6158
10.	4 „	„ „ 1″ „ „	„	5436	8789	1 : 0,6185
					Mittel =	1 : 0,6158

§. 106.

Herr Abbé *Bossut* gibt im §. 488 seines Werkes eine Tabelle, welche die Ausflussmengen des Wassers aus einer Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser in einer dünnen Platte für verschiedene Druckhöhen enthält. Wir haben in dieser Tabelle in der 4ten Kolumne das Verhältniss der für die ganze Ausflussöffnung nach der Formel

$$M = f.t.2\sqrt{g.h} = 1728.(1/12)^2.\frac{3{,}1416}{4}.60.2\sqrt{(15{,}098\,h)} = 4394{,}54\sqrt{h}$$ berechneten Wassermenge mit der aus der Erfahrung gefundenen beigefügt:

Unveränderliche Wasserhöhen im Behältniss.	Ausflussmengen nach der Formel bei einer kreisförmigen Oeffnung von 1 Zoll im Durchmesser in 1 Min.	Wirkliche Ausflussmengen in eben der Zeit, bei derselben Oeffnung.	Verhältniss der berechneten Ausflussmengen zu der wirklich stattfindenden.
1 par. Fuss	4395 par. Kub. Zoll	2722 par. Kub. Zoll	1 : 0,6194
2 „	6215 „	3846 „	1 : 0,6188
3 „	7612 „	4710 „	1 : 0,6188
4 „	8789 „	5436 „	1 : 0,6185
5 „	9826 „	6075 „	1 : 0,6182
6 „	10764 „	6654 „	1 : 0,6182
7 „	11627 „	7183 „	1 : 0,6178
8 „	12430 „	7672 „	1 : 0,6172
9 „	13184 „	8135 „	1 : 0,6170
10 „	13897 „	8574 „	1 : 0,6170
11 „	14575 „	8990 „	1 : 0,6168
12 „	15223 „	9384 „	1 : 0,6164
13 „	15845 „	9764 „	1 : 0,6162
14 „	16443 „	10130 „	1 : 0,6161
15 „	17020 „	10472 „	1 : 0,6153

Diese Versuche zeigen, dass bei gleicher Grösse der Oeffnung und kleinern Druckhöhen verhältnissmässig mehr Wasser ausfliesse als bei grösseren Druckhöhen, oder dass die Zusammenziehung des Wassers bei kleinern Druckhöhen weniger als bei grössern betrage; hieraus sieht man, dass bei niedrigen Wasserständen die einzelnen Wasserfäden von oben nicht mehr in so schrägen Richtungen einfallen, oder dass die Wasserfäden in der Ausflussöffnung mit der lothrechten Linie keinen so grossen Winkel machen als es bei grössern Druckhöhen des Wassers der Fall ist. Bei kleinern Druckhöhen wird sich daher der Strahl nicht so viel zusammenziehen, als bei grösseren; allein diese Unterschiede sind zu unbedeutend, um in der Ausübung beachtet zu werden.

Aus den Versuchen, welche von *Bidone* in den „*Memoires de l'Académie de Turin, Tome XXVII*, 1822" angeführt werden, und durch Ausflussöffnungen in Kupferblechen von ½ Linie Dicke Statt hatten, ergibt sich der Zusammenziehungskoeffizient im Mittel von 36 Beobachtungen mit 0,6216.

Auf gleiche Art geben die Versuche von *Brindley* und *Smeaton* für denselben Fall im Mittel 0,6213. Die Versuche vom Herrn *Eytelwein*, welche in dessen „Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik" angeführt werden, und wobei der Ausfluss aus einer einzölligen Oeffnung in einer ½ Linie dicken Platte Statt hatte, gaben ebenfalls 0,6176.

Nach allen diesen Versuchen kann man annehmen, dass bei dem Ausflusse durch eine dünne Wand die wirkliche Wassermenge beiläufig 0,6176 oder 0,62 derjenigen be-

trage, welche ohne Rücksicht auf die Zusammenziehung aus der einfachen Formel $M = f.t.2\sqrt{g.h}$ berechnet wird.

§. 107.

Der zweite Fall des Ausflusses tritt dann ein, wenn das Wasser nicht durch eine dünne Wand eines Behälters, sondern durch eine zylindrische Ansatzröhre ausfliesst. Derselbe Fall findet bei jedem Gefässe Statt, wobei eine dickere Wand vorhanden und die Ausflussöffnung in derselben angebracht ist. Es kommt hier immer vorzüglich darauf an, wie lang die Ansatzröhre im Verhältnisse zu ihrem Durchmesser sey, indem bei kurzen Röhren das Wasser sich von den Wänden derselben trennt, und dann eben so ausfliesst, als durch dünne Platten. Sind aber die Ansatzröhren länger, so übt die Anziehungskraft ihrer Wände gegen den Strahl eine Wirkung aus, demnach beträgt die Zusammenziehung weniger, indem sich die Wassertheile den Wänden mehr nähern. Nimmt jedoch die Länge der Röhren bedeutend zu, so treten andere Widerstände ein, welche durch die Reibung an den Wänden verursacht werden, und wodurch abermals eine Verminderung des Wasserausflusses entsteht.

Ist die Länge der Ansatzröhre nicht viel grösser als der Durchmesser derselben, so kann der Ausfluss auf eine doppelte Art vor sich gehen: 1tens. Wenn man die Hand oder eine Tafel vor das Ansatzrohr hält, bis dasselbe ganz mit Wasser gefüllt ist, so wird das Wasser vermöge seiner Adhäsion sich an die Wände der Röhre anschliessen und voll ausfliessen; da sich jedoch das Wasser entweder innerhalb der Ansatsröhre noch etwas zusammenzieht, oder nicht mit der ganzen Geschwindigkeit, die der Wasserstandshöhe zugehört, ausfliesst, so beträgt die ausfliessende Wassermenge nach den hierüber gemachten Versuchen beiläufig 0,8125 von derjenigen, welche für die ganze Querschnittsfläche der Ausflussöffnung aus der Formel $f.t.2\sqrt{g.h}$ berechnet wird. 2tens. Wird aber die Oeffnung mit einem Zapfen verschlossen und dieser schnell herausgezogen, so findet man, dass die äussere Oeffnung der Ansatzröhre vom Wasser nicht angefüllt wird, und der Ausfluss beiläufig eben so viel als bei einer Oeffnung in einer dünnen Wand beträgt. Dasselbe erfolgt, wenn das Wasser auf die oben angegebene Art voll ausfliesst, und dem Gefässe eine Erschütterung, z. B. ein Schlag mit einem Hammer, beigebracht wird, wo sich das Wasser von den Wänden der Röhre trennt und abermals nur so viel als durch dieselbe Oeffnung in einer dünnen Wand ausfliesst.

Auch über den Ausfluss aus kurzen Ansatzröhren sind sehr viele Versuche gemacht worden. Herr Abbé *Bossut* führt in dem angeführten Werke §. 529 nachstehende Tabelle an, welche die wirklich ausgelaufene und die aus der Formel für den vollen Querschnitt berechnete Wassermenge für verschiedene Druckhöhen bei einer Ansatzröhre von 1 Zoll im Durchmesser und 2 Zoll Länge enthält; wir haben in dieser Tabelle die zweite Kolumne wie im vorigen §. berechnet und noch die vierte Kolumne beigefügt, welche das Verhältniss der berechneten Ausflussmenge zu der wirklichen darstellt.

Beständige Wasserhöhen über der äussern Mündung der Röhre.	Ausflussmenge nach der Formel bei einer Oeffnung von 1 Zoll im Durchmesser in 1 Minute.	Wirkliche Ausflussmenge in eben der Zeit bei einer zylindrischen Ansatzröhre von 1 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Länge.	Verhältniss der berechneten Ausflussmenge zur wirklichen.
1 par. Fuss	4395 par. Kub. Zoll	3539 par. Kub. Zoll	1 : 0,8052
2 „	6215 „	5002 „	1 : 0,8048
3 „	7612 „	6126 „	1 : 0,8048
4 „	8789 „	7070 „	1 : 0,8044
5 „	9826 „	7900 „	1 : 0,8040
6 „	10764 „	8654 „	1 : 0,8039
7 „	11627 „	9340 „	1 : 0,8033
8 „	12430 „	9975 „	1 : 0,8025
9 „	13184 „	10579 „	1 : 0,8024
10 „	13897 „	11151 „	1 : 0,8024
11 „	14575 „	11693 „	1 : 0,8023
12 „	15223 „	12205 „	1 : 0,8017
13 „	15845 „	12699 „	1 : 0,8015
14 „	16443 „	13177 „	1 : 0,8014
15 „	17020 „	13620 „	1 : 0,8002

Auch aus diesen Versuchen ergibt sich, dass die Zusammenziehung bei kleinern Druckhöhen nicht so viel beträgt, als es bei grössern Druckhöhen der Fall ist.

Herr *Eytelwein* führt in dem genannten Handbuche der Mechanik und Hydraulik nachstehende Versuche über den Ausfluss aus zylindrischen Ansatzröhren von verschiedener Länge an.

Fortlaufende Nummer.	Druckhöhe.	Durchmesser der zylindrischen Ansatzröhre.	Länge der Ansatzröhre.	Verhältniss der, für die ganze Ausflussöffnung berechneten Wassermenge zu der wirklich ausgeflossenen.
	Im Rheinländer Mass.			
1	36 Zoll bis 20,4 Zoll	1 Zoll	1 Zoll	1 : 0,6176
2	„ „	„	3 „	1 : 0,8211
3	„ „	„	12 „	1 : 0,7655
4	„ „	„	24 „	1 : 0,7276
5	„ „	„	36 „	1 : 0,6804
6	„ „	„	48 „	1 : 0,6335
7	„ „	„	60 „	1 : 0,6024

Bei dem ersten Versuche trennte sich der Wasserstrahl von den Wänden, welches gewöhnlich der Fall ist, wenn die Länge der Röhren nur $1\frac{1}{2}$ bis 2 Mal so gross als der Durchmesser derselben ist. Beträgt die Röhrenlänge 2 bis 4 Mal so viel, als der Durchmesser, so fliesst das Wasser in der äusseren Oeffnung voll, und die ausfliessende Wassermenge ist beiläufig mit $0{,}8125\, f . t . 2\sqrt{g . h}$ anzunehmen. Beträgt aber die Röhrenlänge mehr als das vierfache des Durchmessers, so vermindert die Reibung an den Wänden den Ausfluss, und es treten jetzt Gesetze ein, welche wir im folgenden Kapitel näher kennen lernen werden.

§. 108.

Um über die Zusammenziehung des Wassers in kurzen Ansatzröhren einen Aufschluss zu erhalten, hat mein Vater bereits im Oktober 1802 in *Horžowitz* folgende Versuche angestellt: Er liess ein konisches hölzernes Fass ABCD, dessen oberer Durchmesser $25\frac{3}{4}$ Zoll, der untere $21\frac{1}{4}$ Zoll und die Höhe 30 Zoll betrug, verfertigen und brachte an dasselbe eine blecherne Ansatzröhre abcd von $5\frac{1}{2}$ Zoll Länge und $1\frac{7}{8}$ Zoll im Durchmesser an. An diese Röhre wurde oben, wie der Durchschnitt Fig. 13 zeigt, ein krummgebogenes blechernes Rohr efgh und in dasselbe bei h ein Glasrohr luftdicht befestigt. Das Glasrohr war an beiden Enden offen und wurde an dem untern Ende in ein mit Wasser gefülltes Gefäss EFGH gestellt. Alle Dimensionen sind bei diesem Versuche im böhmischen Masse angeführt, wovon 24 Zoll = 22,5 N. Oe. Zoll. Fig. 12 und 13. Tab. 46.

Vor der Oeffnung ab war innerhalb des Gefässes eine Schütze angebracht, welche man, nachdem das Gefäss ABCD mit Wasser gefüllt war, aufzog. Das Wasser floss nun bei cd voll aus und stieg zugleich aus dem untern Gefässe in dem Glasrohre ih in die Höhe. Itzt wurde von 5 zu 5 Sekunden sowohl die Höhe des Wasserstandes ober der Oeffnung im Behälter als auch die Höhe, auf welcher das Wasser in der Röhre ih stehen blieb, angemerkt. Die Resultate der Versuche sind in nachstehender Tabelle enthalten.

Zeit in Sekunden.	Höhe des Wasserstandes im Behälter ober der Oeffnung.	Höhe des angesogenen Wassers.
0	25,5 Zoll	16 Zoll
5	23 „	13 „
10	20,5 „	11 „
15	18,125 „	9 „
20	15,75 „	7,5 „
25	13,5 „	6 „
30	11,25 „	5 „
35	9 „	4 „
40	7 „	3 „
45	5,5 „	2 „
50	4 „	0 „
55	2,5 „	0 „

Bei diesen Versuchen ist zu bemerken, dass das Ansatzrohr ad von $1\frac{7}{8}$ Zoll Durchmesser absichtlich die Länge von 5,5 Zoll oder eine grössere Länge als der doppelte Durchmesser erhielt, damit das Wasser auch bei cd gewiss voll ausfliessen und in keinem Falle eine Ablösung desselben an der äussern Oeffnung dieser Röhre Statt finden könne. Die Versuche zeigen daher, dass innerhalb der Röhre abcd wirklich eine Zusammenziehung Statt fand; das bei ab einströmende Wasser hat nämlich einen Theil der Luft zwischen ad und dem Wasserstrahl in der Röhre mit fortgerissen und dadurch die Wassermenge in der Röhre so weit vermindert, bis die Triebkraft des Wassers der Ansaughöhe mn in dem gläsernen Rohre gleich war. Diese Triebkraft wurde

bei vermindertem Wasserstande im Behälter geringer und daher auch die Höhe mn des Wassers im Glasrohre kleiner.

Zeit in Sekunden.	Höhe des Wasserstandes im Behälter ober der Oeffnung.
0	$25\frac{1}{2}$ Zoll
5	23 ,,
10	$20\frac{5}{8}$,,
15	$18\frac{3}{8}$,,
20	$16\frac{1}{8}$,,
25	14 ,,
30	12 ,,
35	10 ,,
40	$8\frac{1}{4}$,,
45	$6\frac{1}{2}$,,
50	5 ,,
55	$3\frac{1}{2}$,,
60	$2\frac{1}{4}$,,

Bei einer zweiten Reihe von Versuchen wurde eine Ansatzröhre a d von 13 Fuss 2 Zoll Länge und demselben Durchmesser, wie die frühere Röhre von $1\frac{7}{8}$ Zoll angesteckt. Die Resultate der Versuche sind in der nebenstehenden Tabelle enthalten. Das Wasser in der gläsernen Röhre wurde nur Anfangs für einen Augenblick angesogen, aber es fiel sogleich in der Röhre bis zu dem Wasserspiegel E H herab. Dieser zweite Versuch zeigt 1tens, dass das Wasser in der gläsernen Röhre i h nicht mehr angesogen werden konnte, demnach durch die Ausflussröhre a d voll geflossen ist, oder sich in derselben nicht mehr zusammengezogen habe. 2tens. Da dasselbe Gefäss nunmehr eine grössere Zeit zu seinem Ausflusse benöthigte, so sieht man, dass das Wasser in der Röhre a d mit einer kleinern Geschwindigkeit ausgeflossen ist, demnach schon ein Widerstand an den Wänden der Röhre Statt hatte.

§. 109.

Werden konische Röhren an ein Gefäss angesetzt, so kann der Wasserausfluss bedeutend vermehrt werden. Diese Röhren können sich entweder nach aussen verengen, oder nach aussen erweitern, oder auch es können zwei solche Röhren an einander gesetzt werden. Wenn konische Röhren, die sich auf gleiche Art wie der zusammengezogene Strahl verengen, innerhalb des Gefässes angesezt werden, so folgt itzt das Wasser bei geraden Röhren beinahe der Richtung ihrer Wände und man kann, wie aus nachfolgenden Versuchen zu ersehen ist, die Ausflussmenge der, nach der Formel ohne Rücksicht auf Zusammenziehung berechneten beinahe gleich bringen.

Fortlaufende Nr.	Beobachter.	Druckhöhe.	Durchmesser der		Länge der konischen Röhre.	Lage der Röhre.	Verhältniss der, für den vollen Ausfluss berechneten Wassermenge zu der wirklichen.
			Einmündung	Ausmündung.			
1	*Poleni*	21 Zoll 4 Linien	118 Linien	26 Linien	92 Linien	horizontal	1 : 0,8605
2	,,	,, ,,	60 ,,	,, ,,	,, ,,	,,	1 : 0,8844
3	,,	,, ,,	42 ,,	,, ,,	,, ,,	,,	1 : 0,8939
4	,,	,, ,,	33 ,,	,, ,,	,, ,,	,,	1 : 0,8992
5	*Eytelwein*	36 bis 20,4 Z.	15 ,,	12 ,,	8 ,,	,,	1 : 0,9186
6	,,	,, ,,	12 ,,	21,5 ,,	105,75 ,,	,,	1 : 1,1758

Aus diesen Versuchen ersieht man, dass die konischen Röhren, wenn sie beiläufig die Gestalt des zusammengezogenen Strahles haben, wie es im 4^{ten} und 5^{ten} Versuche der Fall war, den Ausfluss mit beinahe 0,9 oder nur ein Zehntel weniger Wasser geben, als bei einem vollen Ausflusse, oder wenn die Mündung genau die Gestalt des zusammengezogenen Strahles hätte. Dem 6^{ten} Versuche zu Folge, wobei die Einmündung enger als die Ausmündung und die Länge $\frac{105{,}75}{12} = 8{,}8$ oder beinahe 9 Mal länger als die Einmündung der Röhre war, ergab sich der Ausfluss grösser. Die Ursache hievon dürfte in der Anziehung der grössern Peripherie der Röhrenwände an den Ausmündungen liegen, weil das Wasser bei dem Durchflusse durch die Röhren von dieser grössern Peripherie mehr beschleunigt wird, als bei zylindrischen Röhren.

Eine grosse Anzahl Versuche über den Ausfluss aus verschieden geformten konischen Röhren findet man in dem Handbuche der Mechanik und Hydraulik von *Eytelwein*. Da jedoch in der Ausübung meistens nur zylindrische Röhren vorkommen, so glauben wir diesen Gegenstand übergehen zu können.

§ 110.

Mit Hilfe der vorstehenden Erfahrungen lassen sich nun alle Beispiele über den Ausfluss des Wassers durch kleine Oeffnungen berechnen.

1stes Beispiel. In einem hinlänglich weiten Gefässe befindet sich eine 4 Zoll breite und eben so hohe Oeffnung in einer dünnen Wand und das Wasser in demselben erhält so viel Zufluss, dass es fortwährend auf 10 Fuss über der Mitte der Oeffnung stehen bleibt. Es fragt sich nun, wie viel Wasser in 1 Sekunde abfliessen wird.

Da hier $f = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$ Quadratfuss und die Fläche des zusammengezogenen Strahles $= 0{,}6176\, f$ ist, so haben wir $M = 0{,}6176 \cdot \frac{1}{9} \cdot 1 \cdot 2\sqrt{15{,}5 \cdot 10} = 1{,}709$ Kub. Fuss.

2tes Beispiel. Ein Gefäss ist mit einen kurzen Ansatzrohr von 4 Quadratzoll Fläche versehen. Der Zufluss des Wassers in dieses Gefäss beträgt 7 Kub. Fuss in 5 Sekunden; es fragt sich, wie hoch bleibt das Wasser über der Mitte der Oeffnung stehen, wenn der Zufluss eben so viel als der Abfluss beträgt.

Für diesen Fall ist $M = 7$ für $t = 5$ und $f = \frac{1}{36}$, demnach für eine kurze Ansatzröhre $7 = 0{,}8125 \cdot \frac{1}{36} \cdot 5 \cdot 2\sqrt{15{,}5\, h}$, woraus $h = 62{,}06$ Fuss folgt.

3tes Beispiel. In einen Wasserbehälter fliesst 0,4 Kub. Fuss Wasser in der Sekunde zu, und dasselbe bleibt 12 Fuss über der Mitte der Ausflussöffnung stehen. Es fragt sich, wie gross diese Oeffnung ist, wenn der Ausfluss durch ein kurzes Ansatzrohr geschieht.

Hier ist $M = 0{,}4$ und $h = 12$, demnach $0{,}4 = 0{,}8125 \cdot f \cdot 2\sqrt{15{,}5 \cdot 12}$, demnach $f = 0{,}018$ Quad. Fuss $= 2{,}6$ Quadratzoll.

4tes Beispiel. Welche Zeit wird erfordert, damit aus einer kreisrunden, in einer dünnen Platte angebrachten Oeffnung, deren Durchmesser 1,5 Zoll beträgt, bei einer Druckhöhe von 6 Fuss eine Wassermenge von 5 Kub. Fuss ausfliesse.

Hier ist $M = 5$, $h = 6$ und $f = \frac{3{,}1416}{4} \cdot \left(\frac{1{,}5}{12}\right)^2$, demnach $5 = 0{,}6176 \cdot \frac{3{,}1416}{4} \cdot \left(\frac{1{,}5}{12}\right)^2 \cdot t \cdot 2\sqrt{15{,}5 \cdot 6}$, woraus $t = 34{,}2$ Sekunden.

§. 111.

Der Ausfluss des Wassers in durchaus offenen Seitenöffnungen oder Wandeinschnitten eines Behälters, worin eine unveränderte Druckhöhe des Wassers Statt findet, wird auf folgende Art berechnet:

Fig. 14. Tab. 46. Es sey $mn = H$ die gegebene Druckhöhe des Wassers, so ist die Geschwindigkeit, womit dasselbe am Boden ausfliesst $c = 2\sqrt{g \cdot H} = no$; auf der halben Höhe in p ist $c' = 2\sqrt{g \cdot \frac{H}{2}} = pq$, auf dem vierten Theile der Höhe in r ist $c'' = 2\sqrt{g \cdot \frac{H}{4}} = rs, \ldots$ demnach verhält sich $c : c' : c'' \ldots = \sqrt{H} : \sqrt{\frac{H}{2}} : \sqrt{\frac{H}{4}} \cdots$ oder die Geschwindigkeiten des Wassers sind den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen proporzional. Nimmt man nun die Druckhöhen mr, mp, mn als Abscissen an, trägt hierauf die Geschwindigkeiten rs pq, no als die Ordinaten auf, und verbindet die Endpunkte dieser Ordinaten, so erhält man die parabolische Linie msqo und die Fäche der Parabel msqonm. Es ist nun offenbar, dass die aus der Seitenöffnung in einer Sekunde ausfliessende Wassermenge einem Wasserprisma gleich sey, welches diese Fläche der Parabel zur Grundfläche, und die Breite b der Oeffnung zur Höhe oder Tiefe hat. Nach §. 77 des I. Bandes ist die Fläche der Parabel $= \frac{2}{3} \cdot mn \cdot no = \frac{2}{3} H \cdot 2\sqrt{g \cdot H}$; demnach wäre die ausfliessende Wassermenge in 1 Sekunde $= \frac{2}{3} b \cdot H \cdot 2\sqrt{g \cdot H}$; da jedoch eine Zusammenziehung des Wassers bei dieser Oeffnung ebenfalls Statt findet, so muss diese Grösse noch mit einem Koeffizienten, den wir inzwischen m nennen wollen, multiplizirt werden. Wir erhalten auf diese Art die Wassermenge, welche durch eine von oben bis unten offene Seitenöffnung eines Gefässes in t Sekunden ausfliesst, $M = m \cdot \frac{2}{3} b \cdot H \cdot t \cdot 2\sqrt{g \cdot H}$.

§. 112.

Hiernach lässt sich nunmehr die Ausflussmenge für eine Seitenöffnung berechnen, welche nicht durchaus bis an den Wasserspiegel offen, sondern wovon der obere Theil geschlossen ist, wie es z. B. bei Schützen der Fall ist.

Fig. 15. Wäre diese Oeffnung bis an den Wasserspiegel offen, so würde die eben berechnete Wassermenge $M = m \cdot \frac{2}{3} b \cdot H \cdot t \cdot 2\sqrt{g\,H}$ in der Zeit t ausfliessen. Denkt man sich nun die untere Oeffnung pn verschlossen und nur die obere offen, so würde auf dieselbe Art die ausfliessende Wassermenge in gleicher Zeit $= m \cdot \frac{2}{3} b \cdot h \cdot t \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ seyn. Zieht man diese Wassermenge von der erstern ab, so erhält man offenbar jene, welche durch die untere Oeffnung pn ausfliesst oder $M' = m \cdot \frac{2}{3} b \cdot t \cdot \{H\sqrt{H} - h\sqrt{h}\} 2\sqrt{g}$. (I.)

Bei dem Ausflusse durch kleine Oeffnungen haben wir gefunden, dass man die Fläche der Oeffnung mit der Geschwindigkeit, welche dem Mittelpunkte derselben zukommt, multipliziren müsse, um die Ausflussmenge zu erhalten. Wird dieselbe Methode auch hier angewendet, und bemerkt, dass die Höhe der Oeffnung $= H - h$ und die Druckhöhe bis auf die Mitte derselben $= h + \frac{H - h}{2} = \frac{H + h}{2}$ ist, so erhalten wir $M'' = m \cdot b \cdot t (H - h) 2\sqrt{g \left(\frac{H + h}{2}\right)}$ (II.) In der Ausübung ist es oft bequemer, diese 2te Formel zu gebrauchen, und die unter dem Texte angeführte Berechnung zeigt, dass

der Unterschied zwischen beiden Methoden in jedem Falle so unbedeutend ist, dass man sich in der Ausübung füglich der einen oder der andern Formel bedienen könne. *)

Bei der angeführten Rechnung wurde die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers $2\sqrt{g(a+x)}$ als parallel zu den Wänden angenommen. Diese Bedingniss findet aber nur bei dem Durchflusse des Wassers in Röhren mit parallelen Seitenwänden Statt; wenn jedoch das Wasser vor der Oeffnung B b c C aus einer bedeutend grösseren Fläche gegen diese Oeffnung zusammenfliesst, wie es bei jedem grossen Behälter, Teiche, See.... Statt findet, so haben wir denselben Fall, welchen wir bereits bei dem Ausflusse aus kleinen Oeffnungen behandelt haben. Das von beiden Seiten zudrängende Wasser ändert nämlich die Richtung der Wasserfäden und der Ausfluss wird gegen die Mitte der Oeffnung zusammengedrückt. Ist die Weite des Gefässes im Vergleiche mit der Oeffnung hinreichend gross, so wird die Zusammenziehung dasselbe Mass haben wie bei kleinen Oeffnungen, und die Fläche des zusammengezogenen Strahles wird sich auch Fig. 16. Tab. 46.

*) Um den Ausfluss aus beträchtlichen Oeffnungen genau zu berechnen, sey die Oeffnung ein Rechteck B C c b, der Wasserstand hinter dieser Oeffnung reiche bis A a und die Höhe desselben über der Oeffnung sey $AB = a$, ferner $BM = x$, $MN = dx$, die Breite der Oeffnung $Bb = Mm = b$ und die Höhe derselben $BC = h$. Fig. 16.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser durch das Element M N n m fliesst, ist offenbar $v = 2\sqrt{g(a+x)}$. Wird diese mit der Fläche $b \cdot dx$ multiplizirt, so ist die durch das Flächenelement M m n N in 1 Sekunde ausfliessende Wassermenge $dM = b \cdot dx \cdot 2\sqrt{g(a+x)}$. Das Integral hiervon ist $M = \frac{2}{3} b (a+x) \cdot 2\sqrt{g(a+x)} + \text{Konst.}$ Znr Bestimmung der Konstanten haben wir für $x = 0$ die ausfliessende Wassermenge $0 = \frac{2}{3} b \cdot a \cdot 2\sqrt{g \cdot a} + \text{Konst.}$ demnach $M = \frac{2}{3} b\ (a+x) \cdot 2\sqrt{g(a+x)} - \frac{2}{3} b \cdot a \cdot 2\sqrt{g \cdot a} = \frac{2}{3} b \cdot 2\sqrt{g}\left\{(a+x)^{3/2} - a^{3/2}\right\}$. Setzen wir $x = h$, so ist der Ausfluss durch die ganze Oeffnung $M = \frac{2}{3} b \cdot 2\sqrt{g}\left\{(a+h)^{3/2} - a^{3/2}\right\}$. Nun wollen wir die Höhe des Wasserstandes über der Mitte der Oeffnung $= A$, folglich $a = A - \frac{h}{2}$ setzen, so ist die ausfliessende Wassermenge

$$M = \tfrac{2}{3} b \cdot 2\sqrt{g}\left\{\left(A + \frac{h}{2}\right)^{3/2} - \left(A - \frac{h}{2}\right)^{3/2}\right\} = \tfrac{2}{3} b \cdot A \cdot 2\sqrt{g \cdot A}\left\{\left(1 + \frac{h}{2A}\right)^{3/2} - \left(1 - \frac{h}{2A}\right)^{3/2}\right\}$$

Wenn wir die angezeigten Potenzen in Reihen auflösen, und die 2te Reihe von der 1ten abziehen, so ist $M = \frac{2}{3} b \cdot A \cdot 2\sqrt{g \cdot A}\left\{\frac{3h}{2A} - \frac{1}{8}\left(\frac{h}{2A}\right)^3 \ldots\right\} = b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot A}\left\{1 - \frac{1}{96}\left(\frac{h}{A}\right)^2 \ldots\right\}$.

Aus diesem Ausdrucke ersieht man, dass für den Fall, wenn die Höhe der Oeffnung h im Vergleiche der Höhe des Wasserstandes sehr klein ist, die ausfliessende Wassermenge $= b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot A}$ seyn wird. Also ist die Ausflussmenge in diesem Falle eben so gross, als das Produkt aus der Fläche der Oeffnung in die Geschwindigkeit, die dem Mittelpunkte der Oeffnung zukommt. Für den Fall, wenn die Höhe des Wasserstandes über der Ausflussöffnung oder die Grösse $a = 0$, folglich $A = \frac{h}{2}$ ist, beträgt die in 1 Sekunde ausfliessende Wassermenge nach der ursprünglichen Formel $M = \frac{2}{3} b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ und nach der letzten Approximazion

$$M = b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot \frac{h}{2}}\left(1 - \frac{1}{24}\right) = \frac{23}{24} \cdot 0{,}707\, b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot h} = \frac{23}{16} \cdot 0{,}707 \cdot \tfrac{2}{3} b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$$

$= 1{,}016 \cdot \frac{2}{3} b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$. Der Unterschied zwischen beiden Rechnungsformeln ist demnach so unbedeutend, dass wir für den praktischen Gebrauch in jedem Falle unbedenklich eine oder die andere nehmen können.

hier zur Fläche der Oeffnung wie $0{,}6176 : 1 = 62 : 100$ verhalten. Da nämlich in diesem Falle die Wasserfäden im zusammengezogenen Strahle parallel neben einander fliessen und die gemeinschaftliche Geschwindigkeit $2\sqrt{g.A}$ besitzen, so ist einleuchtend, dass die ausfliessende Wassermenge dem Produkte der Fläche des zusammengezogenen Strahles in die gemeinschaftliche Geschwindigkeit gleich sey, oder $M = 0{,}62\, b\,.\, h\,.\, 2\sqrt{g.A}$.

Wenn aber das Gefäss vor der Einmündung enger ist, oder seine Wände der Peripherie der Oeffnung mehr genähert werden, so tritt hier wieder derselbe Fall ein, welchen wir bereits in Fig. 6 angedeutet haben. Die Winkel, welche die ausfliessenden Wasserfäden ABb, ameu.... mit der winkelrechten Linie auf die Fläche der Oeffnung B′B bilden, sind hier kleiner, oder die Strahlen fallen mehr parallel gegen die Oeffnung zusammen; es kann daher auch die Fläche des zusammengezogenen Wasserstrahles nicht so viel zusammengedrückt werden, als diess bei sehr weiten Gefässen der Fall ist. Wenn endlich das Gefäss dieselbe Weite, wie die Oeffnung selbst hat, so findet gar keine Zusammenziehung Statt, und der Ausfluss ist dem Produkte $b.h.2\sqrt{g.A}$ gleich, wie wir ihn berechnet haben.

Fig. 6. Tab. 46.

Hieraus sehen wir, dass die Ausflussmenge nie kleiner als $M = 0{,}6176\,.\, b\,.\, h\,.\, 2\sqrt{g.A}$ werden kann, oder dass der Zusammenziehungskoeffizient m der Fläche nie weniger als 0,6176 oder 0,62 betrage. Bei engern Seitenwänden des Gefässes wird m immer grösser und endlich bei parallelen Wänden $m = 1$, folglich muss in diesem Falle die Ausflussmenge, so wie wir sie berechnet haben, dem Produkte aus der Fläche der Ausflussöffnung in die ganze Geschwindigkeit, welche dem Mittelpunkte der Oeffnung zukommt, gleich seyn. Für die dazwischen liegenden Fälle lässt sich keine bestimmte Regel angeben, weil hierüber genügende Versuche noch mangeln und weil bei theoretischen Betrachtungen über diesen Gegenstand nicht bloss die Nähe der Seitenwände bei der Oeffnung, sondern auch ihre gebogene Gestalt zu berücksichtigen seyn würde.

§. 113.

Um den wirklichen **Abfluss des Wassers in einem Mühlgerinne** durch eine bis oben offene Schützenöffnung zu berechnen, werden abermals Versuche benöthigt, nachdem die bisher angeführten Versuche dieser Art bloss für kleine Oeffnungen gelten. Da diese Versuche im Grossen angestellt werden müssen, so sind sie weit schwieriger, als jene mit kleinen Oeffnungen, die eine weit grössere Genauigkeit der Beobachtung zulassen. Versuche dieser Art hat Herr *Eytelwein* mit dem Bau-Inspektor *Kypke* bei *Bromberg* in einem Bache angestellt. Dieser war auf eine Länge von 250 Fuss mit starken Bretern auf 4 Fuss Breite und 3 Fuss Höhe rechtwinkelig ausgesetzt, und lief in dieser Länge in gerader Richtung fort.

Bei den Versuchen, welche mit möglichster Genauigkeit angestellt wurden, ist zuerst die Wassermenge, welche bei dem ungehinderten Laufe in dem Kanal abfloss, genau gemessen worden und man fand, dass sie für die Sekunde 4021 Kub. Zoll = 2,327 Rheinländer Kub. Fuss betrug. Es wurde nun in der Entfernung von 240 Fuss vom Anfange des Kanals eine Querwand von 1⅛ Zoll dicken Bretern genau eingesetzt und in der Mitte dieser Wand rechtwinkelige, scharf abgehobelte Oeffnungen angebracht, deren unterster Rand

bei jedem Versuche $7\frac{3}{16}$ Zoll von der Sohle des Kanals abstand. Diese Oeffnungen waren sämmtlich oben offen und hatten die Breite von 6, von 10.... bis $41\frac{3}{8}$ Zoll. Da die ganze Breite des Gerinnes 4 Fuss betrug, so können wir nur bei den ersten Oeffnungen eine völlige Zusammenziehung annehmen. Dieses fand jedoch nicht mehr bei der letzten Oeffnung Statt, deren Breite $41\frac{3}{8}$ Zoll = 3 Fuss $5\frac{3}{8}$ Zoll betrug, wogegen die ganze Oeffnung nur um $6\frac{5}{8}$ Zoll breiter war.

Bei einer jeden Oeffnung wurde der Beharrungsstand oder der unveränderliche Stand des Wasserspiegels abgewartet, und dann erst die Abmessung vorgenommen. Herr *Eytelwein* bemerkt, dass bei diesen Versuchen das Wasser sich jedesmal in der Oeffnung um die Grösse ae unter dem aufwärtigen Wasserstande gesenkt habe, dass demnach der Wasserstand ober der Oeffnung nicht durch eb, sondern durch op = ae + eb bemessen werden musste. Obgleich die Schwelle der Oeffnung wie oben angeführt wurde, $7\frac{3}{16}$ Zoll über der Sohle des Kanales angebracht war, so bemerkte man doch, dass kleine schwimmende Körper mit dem übrigen Wasser am Boden fortgeflossen sind, und in der Nähe dieser Schwelle sich hoben und über dieselbe abflossen. Fig. 17. Tab. 46.

Der Wasserstrahl bildete an der Oberfläche nach der ganzen Breite der Ausflussöffnung keine gerade Linie, sondern er war in der Mitte höher, zu beiden Seiten eingesenkt und erhöhte sich wieder an den Wänden der Oeffnung. Nach der Richtung des abfliessenden Wassers stellt Fig. 18 den horizontalen Durchschnitt des Wasserstrahles in der Höhe der Ueberlasschwelle und Fig. 19 das vertikale Profil durch kl vor. Hieraus ersieht man, dass der Wasserstrahl an seiner Oberfläche kl breiter, unten aber bei ef wegen der grössern Zusammenziehung schmäler sey, so dass der obere Theil akgihlb, welcher in Fig. 18 punktirt erscheint, ober dem untern durch Schraffirung angezeigten Wasserstrahle aegihfb wie ein Mantel überhängt, am Ende bei g und h aber mit dem erstern zusammenfällt und auf diese Art die Fig. 18 dargestellte Gestalt bildet. Fig. 18 und 19.

Da die Zusammenziehung des Strahles wegen seiner irregulären Figur keiner einfachen Berechnung fähig ist, so wird der Zusammenziehungskoeffizient bloss aus der Gleichung $m = \frac{M}{\frac{2}{3} b . H . 2\sqrt{g . H}}$ berechnet, wobei $g = 15\frac{5}{8}$ Rheinländer Fuss ist, alle übrigen Masse auch hierin angegeben sind, demnach wegen der Gleichheit der Dimensionen im Zähler und Nenner keine Redukzion auf N. Oe. Mass mehr benöthigt wird. Bei dieser Berechnung ist auf die unbedeutende Geschwindigkeit, welche das zufliessende Wasser bei o (Fig. 17) hatte, keine Rücksicht genommen worden, da diese nach der Bemerkung des Herrn *Eytelwein* als unbedeutend vernachlässigt werden kann. Nachstehende Tabelle enthält die Resultate der Abmessungen bei diesem Versuche und die letzte Kolumne die nach der vorstehenden Gleichung berechnete Grösse des Zusammenziehungskoeffizienten.

Nr. des Versuchs.	Breite der Oeffnung	Höhe des Strahls in der Oeffnung eb	Senkung des Wasserspiegels ae	Wasserstand ab	Abstand des eingesenkten Wasserspiegels ao	Abfliessende Wassermenge M. Rheinl. Kub. Fuss.	Berechneter Zusammmenziehungskoeffizient m.
	Rheinländer Fuss.						
1	0,500	1,219	0,031	1,250	0,530	2,327	0,6318
2	0,833	0,853	0,047	0,900	0,540	„	0,6208
3	1,167	0,645	0,075	0,720	0,790	„	0,6193
4	1,500	0,523	0,073	0,596	0,810	„	0,6397
5	2,146	0,408	0,072	0,480	0,750	„	0,6187
6	3,448	0,292	0,052	0,344	0,660	„	0,6347
				Mittel aus allen Versuchen . . m = 0,6275			

Obgleich diese Versuche mit vielem Fleisse vorgenommen wurden, so zeigt doch der berechnete Werth des Zusammenziehungskoeffizienten m, dass hiebei Beobachtungsfehler unterliefen, wie es bei solchen Messungen leicht eintreten kann. Man hätte nämlich im Versuche Nr. 1, wo die Breite der Oeffnung am kleinsten war, die Zusammenziehung am grössten oder m am kleinsten finden sollen, wogegen bei den folgenden Versuchen m immer grösser werden und bei dem Versuche Nr. 6 das meiste betragen sollte, weil hier die Breite der Oeffnung von der ganzen Breite des Gerinnes nur wenig mehr abwich, also die Zusammenziehung am wenigsten betragen konnte.

Aus diesen Versuchen und mehreren andern, welche über den Ausfluss des Wassers aus oben geöffneten Wassereinschnitten, oder ganz aufgezogenen Schützenöffnungen vorgenommen wurden, lässt sich der Werth des Zusammenziehungskoeffizienten mit m = 0,63 annehmen. Derselbe Koeffizient kann auch bei der Berechnung des Wasserabflusses bei grossen Uiberfällen, wobei auf allen Seiten Zusammenziehung Statt findet, angenommen werden.

§. 114.

Der Ausfluss des Wassers aus Schützenöffnungen, vor welchen ein bedeutender Wasserstand vorhanden ist und wo die Schütze nicht auf die ganze Höhe des Oberwassers aufgezogen wird, lässt sich nicht nach der vorstehenden Erfahrung berechnen und fordert abermals die Vornahme eigener Versuche.

Da diese Versuche im Grossen angestellt werden müssen, so sind sie nicht leicht mit der erforderlichen Genauigkeit auszuführen, und es finden sich in den hydraulischen Schriften nur wenige Beobachtungen dieser Art, die man mit Verlässigkeit praktischen Berechnungen zum Grund legen könnte. In den *Mémoires sur les roues hydraulique à aubes courbes, mues par dessous, par M. Poncelet, Metz,* 1827 sind mehrere Versuche dieser Art angeführt, wovon die folgenden an dem Wasserwerke des Herrn

Nicéville in *Metz* angestellt wurden. Die Schütze in dem Mühlgerinne stand hierbei nicht senkrecht, sondern machte mit dem Horizonte einen Winkel von beiläufig 63,5 Grad und die abfliessende Wassermenge wurde dadurch bestimmt, dass man den Querschnitt des zusammengezogenen Strahles möglichst genau abmass. Die Resultate der Versuche enthält nachstehende Tabelle.

Fortlaufende Nro.	Druckhöhe.	Weite der Schützenöffnung.	Höhe der Schützenöffnung.	Fläche der Schützenöffnung.	Fläche des zusammengezogenen Strahles.	Koeffizient der Zusammenziehung.
1	1,415 *met.*	0,70 *met.*	0,304 *met.*	2128□*Centm.*	1569□*Centm.*	0,737
2	1,600 „	„ „	0,304 „	2128 „	1580 „	0,742
3	1,540 „	„ „	0,220 „	1540 „	1157 „	0,751
4	1,600 „	„ „	0,220 „	1540 „	1157 „	0,751
					Mittel . . m = 0,745	

Die Zusammenziehung fand hier nur an der obern Seite Statt; wenn sie daher an allen Seiten Statt findet, wird der Werth von m etwas kleiner.

Aehnliche Versuche über den Ausfluss des Wassers aus Schützenöffnungen führt *d'Aubuisson* in den *Annales des mines, 2me serie, 3me livraison,* 1828 an. Die Breite der rechtwinkeligen Schützenöffnungen betrug 0,4035 *met.* und die Aufzugshöhe 0,036, dann 0,044, dann 0,019 und zuletzt wieder 0,019 *met.* Das Behältniss, aus welchem das Wasser abfloss, war 20 *met.* lang, 2 *met.* breit und 2. *met.* hoch, die Höhe des Wasserstandes über der Schützenöffnung oder das Druckwasser betrug nicht ganz 2 *met.* Die Zusammenziehungs-Koeffizienten ergaben sich für die obigen 4 Fälle mit 0,674, dann 0,708, ferner 0,702 und zuletzt 0,701; das Mittel aus diesen Zahlen ist 0,696. Da jedoch die Schützenöffnung so klein war, so konnten leicht bei der Abmessung derselben Fehler unterlaufen.

§. 115.

Diese Versuche und mehrere andere, welche über den Ausfluss aus Schützenöffnungen angestellt wurden, sind bei weitem nicht so übereinstimmend, als es bei den früher angeführten Versuchen durch kleine Oeffnungen der Fall war. Herr *Eytelwein* liefert über alle diese Versuche nachstehende Uibersichtstabelle, worin die dritte Kolumne den Werth von m. $2\sqrt{g}$ für $g = 15^5/_8$ Rheinl. Fuss enthält. Werden diese Werthe mit $2\sqrt{g} = 2\sqrt{15^5/_8} = 7{,}9$ dividirt, so erhält man den Werth des Koeffizienten m, welcher in der vorletzten Kolumne beigefügt ist. Hieraus folgt nun die Gleichung für den Wasserausfluss in der letzten Kolumne, bei deren Gebrauche für N. Oe. Mass $g = 15{,}515$ N. Oe. Fuss. zu setzen ist.

Nro.	Beschaffenheit der Ausfluss-öffnung.	Werth von $m . 2 \sqrt{g}$ in Rheinl. Mass.	Zusammen-ziehungs-Koeffizient (m).	Gleichung für den Wasser-ausfluss.
1	Oeffnungen in dünnen Wänden	4,89	0,619	$M = 0{,}619\, f \cdot t \cdot 2 \sqrt{g \cdot h}$
2	Schützenöffnungen ohne Flügelwänden	5,00	0,633	$M = 0{,}633\, f \cdot t \cdot 2 \sqrt{g \cdot h}$
3	Kurze Ansatzröhren	6,42	0,813	$M = 0{,}813\, f \cdot t \cdot 2 \sqrt{g \cdot h}$
4	Schmale Gerinne. Schützenöffnungen mit Flügelwänden. Steile Einbaue. Gerade Brückenpfeiler	6,76	0,856	$M = 0{,}856\, f \cdot t \cdot 2 \sqrt{g \cdot h}$
5	Breite Gerinne. Freischleussen mit Flügelwänden. Schräge Einbaue. Spitze Brückenpfeiler	7,54	0,954	$M = 0{,}954\, f \cdot t \cdot 2 \sqrt{g \cdot h}$
6	Mündungen von der Gestalt des zusammengezogenen Strahles	7,646	0,968	$M = 0{,}968\, f \cdot t \cdot 2 \sqrt{g \cdot h}$

§. 116.

Mit Benützung der vorstehenden Erfahrungen lassen sich nun alle hierher gehörigen Beispiele auflösen.

1tes Beispiel. Eine vorzügliche Anwendung dieser Berechnungen findet bei **Bemessung des Wasserzuflusses in kleinern Bächen** Statt. Da die irreguläre Gestalt der Ufer und des Flussbettes solcher Bäche nicht wohl eine Rechnung zulassen, so pflegt man dieselben durch einen rechtwinkeligen Einbau mit Pfählen und Bretern genau abzuschliessen, in dessen Mitte eine Schützenöffnung angebracht wird, die man zur Messung des Wasserabflusses auf einer bestimmten Höhe über der Bodenschwelle a b offen hält. Fig. 20 stellt die vordere Ansicht und Fig. 21 den Längendurchschnitt eines solchen Einbaues vor. Es sey in diesem Falle die Breite der Oeffnung $ab = b = 1$ Fuss und die Höhe derselben $ac = 6$ Zoll; hierbei beobachte man nun, dass das Wasser auf einer Höhe a d von 3 Fuss über dem Schweller der Oeffnung **beständig** stehen bleibt. Es fragt sich nun, wie gross die Wassermenge ist, welche dieser Bach in einer Sekunde abführt?

Fig. 20 und 21. Tab. 46.

Da der Wasserspiegel e d über der Schützenöffnung unveränderlich stehen bleibt, so muss durch diese Oeffnung in einer Sekunde eben so viel abfliessen, als der Bach Wasser zuführt. Werden daher die Werthe in der Formel II, §. 112 substituirt, so ist $M = 0{,}633 . 1 . \frac{1}{2} . 2\sqrt{(15{,}515 . 2{,}75)} = 4{,}13$ Kub. Fuss, welche der Bach in einer Sekunde abführt.

Derselben Methode bedient man sich auch, um die Wassermenge zu bestimmen, welche eine Quelle gibt. Da das Ausschöpfen des aus der Quelle z. B. in einer Minute ausfliessenden Wassers nicht leicht möglich ist, so leitet man dieses Wasser in einen kleinen Graben und setzt in denselben eine gut schliessende Breterwand ein, in welcher eine rechtwinkelige Ausflussöffnung angebracht wird. Die Messung der Höhe, auf welcher sich das Wasser fortwährend erhält und die Grösse der Ausflussöffnung gibt nun das Mittel, den Ausfluss für die Sekunde genau zu berechnen. Bei dieser Methode muss jedoch die Breterwand in dem Wassergraben auf einer solchen Entfernung eingelegt werden, dass das rückstauende Wasser die Oberfläche des Quellwassers nicht erreicht und dadurch dieses Wasser in die Oeffnung, wo es herausbricht, zurückdrückt. — Auch könnte man statt einer Oeffnung in der Breterwand einen Einschnitt bis an die Sohle des fliessenden Wassers anbringen und nun die beständige Höhe, auf welcher das Wasser sich erhält und die Breite der Oeffnung bemessen, wornach dann die abfliessende Wassermenge berechnet wird. Diese letztere Methode hat in *Karlsbad* gedient, die Wassermenge, welche der Sprudel und die demselben zunächst liegenden Quellen geben, bei ihrem Ausflusse in die Tepl abzumessen. Dieses Verfahren musste hier angewendet werden, da man in dem geschlossenen Sprudelgebäude wegen der aufsteigenden heissen Dämpfe die Höhe nicht sehen konnte, auf welcher das Wasser über der Ausflussöffnung stehen blieb.

2tes Beispiel. Bei der Brückenmühlen-Wehre an der Moldau in Prag liegt die Hauptschwelle oder der Fachbaum a d der Mühlengerinne um $\frac{7}{4}$ böhmische Ellen $=3{,}5$ böhm. Fuss $=3{,}5\,.\,\frac{15}{16}$ oder $3{,}281$ N. Oe. Fuss niedriger als die oberste Schwelle e f der Wehre. Nehmen wir nun an, das Oberwasser stünde mit der Oberfläche e f der Wehre, welche Fig. 22 durch die punktirten Linien angezeigt ist, in gleicher Höhe. Es fragt sich nun, wie viel Wasser in 1 Sekunde durch ein Mühlgerinne von 4 N. Oe. Fuss Breite einlaufen werde, im Falle die Schütze ganz, oder auch nur auf eine unbestimmte Höhe aufgezogen wird? Fig. 22. Tab. 46.

Da die hiesigen Schützenöffnungen ohne Flügelwänden gebaut sind, so ist der Zusammenziehungskoeffizient nach der vorigen Tabelle mit $m=0{,}633$ anzunehmen. Wir haben daher für den Fall, als die Schütze ganz aufgezogen wird, die in einer Sekunde zuströmende Wassermenge nach der Formel §. 112

$M=0{,}633\,.\,\frac{2}{3}\,.\,4\,.\,3{,}281\,.\,2\sqrt{(15{,}515\,.\,3{,}281)}=79{,}03$ N. Oe. Kub. Fuss.

Würde dieselbe Schütze 3 Fuss hoch aufgezogen, so ist die Ausflussmenge in 1 Sekunde nach §. 112, Formel I, $M=0{,}633\,.\,\frac{2}{3}\,.\,4\,.\{3{,}281\sqrt{3{,}281}-0{,}281\sqrt{0{,}281}\}2\,.\sqrt{15{,}515}=77{,}05$ Kub. Fuss,
nach §. 112, Formel II, $M=0{,}633\,.\,4\,.\,3\,.\,2\sqrt{(15{,}515\,.\,1{,}781)}=79{,}86$ Kub. Fuss.

Wird dieselbe Schütze 2 Fuss hoch aufgezogen, so ist
nach Formel I, $M=0{,}633\,.\,\frac{2}{3}\,.\,4\,.\{3{,}281\sqrt{3{,}281}-1{,}281\sqrt{1{,}281}\}2\sqrt{15{,}515}=59{,}75$ Kub. Fuss.
nach Formel II, $M=0{,}633\,.\,4\,.\,2\,.\,2\sqrt{(15{,}515\,.\,2{,}281)}=60{,}25$ Kub. Fuss.

Wird diese Schütze 1 Fuss hoch aufgezogen, so ist die Wassermenge
nach Formel I, $M=0{,}633\,.\,\frac{2}{3}\,.\,4\,.\{3{,}281\sqrt{3{,}281}-2{,}281\sqrt{2{,}281}\}2\sqrt{15{,}515}=33{,}22$ Kub. Fuss.
nach Formel II, $M=0{,}633\,.\,4\,.\,1\,.\,2\sqrt{(15{,}515\,.\,2{,}781)}=33{,}26$ Kub. Fuss.

Wenn endlich dieselbe Schütze nur 6 Zoll hoch aufgezogen wird, so ist

nach Formel I, $M = 0{,}633 \cdot \frac{2}{3} \cdot 4 \cdot \{3{,}281 \sqrt{3{,}281} - 2{,}781 \sqrt{2{,}781}\}\ 2\sqrt{15{,}515} = 17{,}353$ Kub. Fuss.
nach Formel II, $M = 0{,}633 \cdot 4 \cdot 0{,}5 \cdot 2\sqrt{(15{,}515 \cdot 3{,}031)} = 17{,}363$ Kub. Fuss.

Aus diesen Berechnungen ersehen wir, dass die Unterschiede der Resultate der Formel I und II vorzüglich bei kleineren Druckhöhen so unbedeutend sind, dass man sich ohne Anstand der einen oder der andern bedienen könne.

3tes Beispiel. Bei einem Teiche befindet sich ein oben offener Abfluss, der die Breite $b = 6$ Fuss hat, die Höhe des Wassers bis zum Fachbaume ist $h = 2{,}5$ Fuss. Da die umliegende Gegend zu sehr überschwemmt wird, so wünscht man den Wasserspiegel um $a = 1$ Fuss zu erniedrigen. Es fragt sich, wie viel die Oeffnung des Abflusses breiter gemacht werden müsse, wenn der Fachbaum unverrückt auf derselben Höhe bleiben soll.

Es sey die neue Breite der Oeffnung $= B$, so ist die Wassermenge, welche durch die Oeffnung gegenwärtig fliesst, $M = m \cdot b \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$. Wird der Wasserspiegel um $a = 1$ Fuss erniedrigt, so ist die Höhe des Wassers sodann $= h - 1 = h - a$, daher die Wassermenge die nach der Erweiterung der Oeffnung durchfliessen wird $= m \cdot B(h-a) \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g(h-a)}$. Da das Wasser auf der Höhe $h - a$ beständig stehen bleiben soll, so muss in beiden Fällen dieselbe Wassermenge in einer Sekunde zufliessen; es ist daher $m \cdot b \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g \cdot h} = m \cdot B(h-a) \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g(h-a)}$, woraus die gesuchte Breite $B = \frac{b \cdot h}{(h-a)} \sqrt{\frac{h}{h-a}}$. Ist $b = 6$ Fuss und $h = 2{,}5$ Fuss, so ist $B = \frac{6 \cdot 2{,}5}{2{,}5 - 1} \sqrt{\frac{2{,}5}{2{,}5 - 1}} = 12{,}91$ Fuss; die Ausflussöffnung muss daher um $B - b = 6{,}91$ Fuss erweitert werden.

4tes Beispiel. Es soll bei demselben Teiche, wo sich der Wasserspiegel um 1 Fuss senken soll, die Breite der Oeffnung dieselbe bleiben; es fragt sich nun um wie viel (x) der Uiberlasschweller erniedrigt werden muss.

Wir haben wieder für den dermaligen Zustand des Abflusses $M = m \cdot b \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$. Wird die Oeffnung erniedrigt und der Wasserspiegel senkt sich um 1 Fuss, so ist die Höhe des Wassers im Durchlasse $= h - 1 + x$, demnach die Wassermenge $= m \cdot b(h - 1 + x) \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g(h - 1 + x)}$. Da wieder in beiden Fällen dieselbe Wassermenge durchfliessen muss, so ist $m \cdot b \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g \cdot h} = m \cdot b(h - 1 + x) \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{g(h - 1 + x)}$, oder $h\sqrt{h} = (h - 1 + x)\sqrt{(h - 1 + x)}$ und auf das Quadrat erhoben, $h^3 = (h - 1 + x)^3$, demnach auch $h = h - 1 + x$ und $x = 1$ Fuss, d. h. der Ausfluss muss so viel erniedrigt werden, als der Wasserspiegel sinken soll.

5tes Beispiel. Ein Teich hat in jeder Sekunde $M = 64$ Kub. Fuss Wasserzufluss. In dem Damme soll ein Durchlass mit Flügelwänden von $b = 6$ Fuss Breite angelegt werden; man fragt, wie hoch sich das Wasser über dem Schweller des Durchlasses erhalten werde.

Das Wasser wird sich erst dann auf einer beständigen Höhe erhalten, wenn der Ausfluss eben so gross als der Zufluss ist; wir haben daher, wenn für m der Werth $0{,}956$ substituirt wird $64 = 0{,}956 \cdot 6 \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\sqrt{(15{,}515 \cdot h)}$. Wird hier auf das Quadrat erhoben und dann die Wurzel des dritten Grades gezogen, so folgt $h = 1{,}73$ Fuss.

6tes Beispiel. Ein Teich hat in jeder Sekunde $M = 15$ Kub. Fuss Wasserzufluss. In demselben wird eine Freischleusse angebracht, die mit einer 12 Zoll breiten Oeffnung

versehen ist. Wie hoch muss die Fallschütze aufgezogen werden, damit der Wasserstand auf dem Fachbaume die gegebene Höhe von 4 Fuss betrage.

In diesem Falle ist $M = 15$, $b = 1$, $H = 4$ und $m = 0{,}633$. Werden diese Werthe in die Formel I, §. 112 substituirt, so erhalten wir $15 = 0{,}633 \cdot \frac{2}{3} \cdot \{4\sqrt{4} - h\sqrt{h}\} 2\sqrt{15{,}515}$, woraus $h = 2{,}3$ folgt; der obere Rand der Schützenöffnung bleibt daher um 2,3 Fuss unter der Oberfläche des Wassers, es muss also die Schütze auf $4 - 2{,}3 = 1{,}7$ Fuss aufgezogen werden.

§. 117.

Bisher haben wir den Ausfluss des Wassers aus rechtwinkeligen Querschnitten abgehandelt; es kann jedoch der Fall eintreten, dass das Wasser durch eine kreisförmige oder elyptische Oeffnung aus einem Behälter ausfliesst. Die höhere Analysis lehrt uns *), dass man die ausfliessende Wassermenge erhält, wenn die Fläche der Ausflussöffnung mit jener Geschwindigkeit multiplizirt wird, womit das Wasser durch den Mittelpunkt der Oeffnung fliesst. Hierbei ist in Bezug auf die Zusammenziehung des Strahles dasselbe zu erinnern, was bei dem Ausflusse aus rechtwinkeligen Oeffnungen angeführt wurde.

*) Die Ausflussöffnung sey eine Elypse, deren grössere Achse $AB = 2a$ und die kleinere $CD = 2b$, die Oberfläche des Wassers befinde sich in der horizontalen Linie durch E und die Höhe des Wasserstandes ober dem Mittelpunkte sey $EO = A$. Fig. 23. Tab. 46.

Wir wollen zuerst den Ausfluss durch die Fläche des Elementes $QQ'q'q$ untersuchen. Wird aus O mit der halben kleinen Achse $CO = b$ ein Kreis Cmn beschrieben und der Winkel $COm = \varphi$ gesetzt, so ist $PO = b \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi$ und $CP = b - b \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi$, demnach die Höhe des Flächenelementes $Pp = b \cdot d\varphi \cdot \mathrm{Sin}\,\varphi$. Ferner ist $Pm = b \cdot \mathrm{Sin}\,\varphi$, demnach $PQ = a \cdot \mathrm{Sin}\,\varphi$ und $QQ' = 2a \cdot \mathrm{Sin}\,\varphi$. Hieraus ergibt sich die Fläche des Elementes $QQ'q'q = 2a \cdot b \cdot d\varphi \cdot \mathrm{Sin}^2\varphi$. Die Höhe des Wasserstandes über dem Elemente ist $EP = A - b \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi$, folglich die Geschwindigkeit des Wassers $= 2\sqrt{g(A - b \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi)} = 2\sqrt{g \cdot A} \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{b}{A} \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi\right)}$ und wenn diess in eine Reihe aufgelösst wird $= 2\sqrt{g \cdot A}\left(1 - \frac{b}{2A} \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi - \frac{b^2}{8A^2} \cdot \mathrm{Cos}^2\varphi - \frac{b^3}{16A^3} \cdot \mathrm{Cos}^3\varphi \ldots\ldots\right)$.

Hieraus folgt die Wassermenge, welche in 1 Sekunde durch das Flächenelement ausfliesst, oder

$$dM = 2a \cdot b \cdot d\varphi \cdot \mathrm{Sin}^2\varphi \left(1 - \frac{b}{2A} \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi - \frac{b^2}{8A^2} \cdot \mathrm{Cos}^2\varphi \ldots\ldots\right) 2\sqrt{g \cdot A}.$$

Wird diese Gleichung integrirt, so ergibt sich der Ausfluss durch das Segment QCQ' oder

$$M = 2a \cdot b \cdot 2\sqrt{g \cdot A}\left\{\frac{\varphi - \mathrm{Sin}\,\varphi \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi}{2} - \frac{b}{6A} \cdot \mathrm{Sin}^3\varphi - \frac{b^2}{8A^2}\left(\frac{\varphi - \mathrm{Sin}\,\varphi\,\mathrm{Cos}\,\varphi}{2} - \frac{3\varphi + 3\,\mathrm{Sin}\,\varphi \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi + 2\mathrm{Sin}^3\varphi \cdot \mathrm{Cos}\,\varphi}{8} \ldots\right)\right.$$

Um den Ausfluss durch die ganze Oeffnung zu erhalten, müssen wir $\varphi = \pi$, mithin $\mathrm{Sin}\,\varphi = 0$ und $\mathrm{Cos}\,\varphi = -1$ setzen, und wir erhalten $M = \pi \cdot a \cdot b \cdot 2\sqrt{g \cdot A}\left\{1 - \frac{1}{32} \cdot \frac{b^2}{A^2}\right\}$. Die ausfliessende Wassermenge M ist demnach beinahe gleich dem Produkte aus der Fläche der Oeffnung $(\pi \cdot a \cdot b)$ multiplizirt mit der Geschwindigkeit $(2\sqrt{g \cdot A})$, mit welcher nämlich das Wasser durch den Mittelpunkt O der Oeffnung fliesst.

Wenn die Höhe des Wasserstandes nur bis zum obern Rande der Oeffnung in C reicht, so ist $A = b$ und die in einer Sekunde ausfliessende Wassermenge $M' = \frac{31}{32} \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot 2\sqrt{g \cdot b}$. Wäre die Oeffnung ein Kreis, so ist $a = b$ und die ausfliessende Wassermenge $M'' = \frac{31}{32} \cdot \pi \cdot a^2 \cdot 2\sqrt{g \cdot a}$.

Obgleich für den Fall, wenn $A = b$ ist, die ausfliessende Wassermenge durch die Gleichung $M' = \frac{31}{32} \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot 2\sqrt{g \cdot b}$ sehr genau berechnet werden kann, so lässt sich doch hiefür auch

§. 118.

Manchmal tritt der Fall ein, dass das Wasser durch eine elyptische oder zylindrische Röhre geleitet wird, jedoch kein so bedeutender Zufluss Statt findet, um die Röhre beständig voll zu erhalten; es bleibt daher der obere Theil derselben leer. Auch für diesen Fall gibt uns die höhere Analysis die in der Note abgeleitete Formel *), mit deren Benützung sich alle hierher gehörigen Aufgaben auflösen lassen.

eine vollkommen richtige Gleichung ohne Aproximazion finden. Wir haben nämlich die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers $2\sqrt{g.b(1-\text{Cos}\,\varphi)} = 2\,\text{Sin}\,\frac{\varphi}{2}.\sqrt{2g.b}$, demnach ist das Element der ausfliessenden Wassermenge $dM = 2a.b.d\varphi.\text{Sin}^2\varphi.2\,\text{Sin}\,\frac{\varphi}{2}.\sqrt{2g.b}$. Nun ist aber $\text{Sin}\,\varphi = 2\,\text{Sin}\,\frac{\varphi}{2}.\text{Cos}\,\frac{\varphi}{2}$ und $d\varphi.\text{Sin}\,\frac{\varphi}{2} = -2\,d\,\text{Cos}\,\frac{\varphi}{2}$. Setzen wir noch zur Abkürzung $\varphi = 2\mu$, so ist

$$dM = -2a.b.2\,d\,\text{Cos}\,\mu.4\,\text{Sin}^2\mu.\text{Cos}^2\mu.2\sqrt{2g.b} = -32\,a.b\,(1-\text{Cos}^2\mu)\,\text{Cos}^2\mu.d\,\text{Cos}\,\mu\,\sqrt{2g.b}.$$

Das Integral dieser Gleichung ist $M = 32\,a.b\left\{\frac{1-\text{Cos}^3\mu}{3} - \left(\frac{1-\text{Cos}^5\mu}{5}\right)\right\}\sqrt{2g.b}$, wo nämlich die beständige Grösse so bestimmt wurde, dass die ausfliessende Wassermenge $M = 0$ wird, wenn $\varphi = 2\mu = 0$ ist.

Um die durch die ganze Oeffnung ausfliessende Wassermenge zu erhalten, müssen wir $\varphi = 2\mu = 180$, also $\mu = 90$ und $\text{Cos}\,\mu = 0$ setzen. Dadurch erhalten wir $M' = 32\,a.b\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\right)\sqrt{2g.b} = \frac{64}{15}\,a.b\sqrt{2g.b} = 6{,}0340\,a.b.\sqrt{g.b}$. Vergleicht man diese Gleichung mit der obigen $M' = \frac{31}{32}\pi.a.b.2\sqrt{g.b} = 6{,}0868\,a.b\sqrt{g.b}$, so sieht man, dass der Unterschied an und für sich gering ist, und bloss daher rührt, weil man die Aproximazion nicht weit genug fortgesetzt hat.

Fig. 24. Tab. 46. *) Wenn fliessendes Wasser durch eine elyptische Röhre geleitet wird, aber der Zufluss desselben nicht so gross ist, um die Röhre beständig voll zu erhalten, sonach von der elyptischen Fläche ACBD das Segment KCK' leer bleibt, so ist die Fläche des Elementes QQ'q'q wie zuvor $2a.b.\text{Sin}^2\varphi.d\varphi$, oder wenn wir $\varphi = 2\mu$ setzen, so ist diese Fläche $= 8a.b.\text{Sin}^2\mu.\text{Cos}^2\mu.2d\mu$. In diesem Falle ist aber die Druckhöhe nur $= EP = EO - PO$, und wenn wir den Winkel $1OE = 2\alpha$ setzen, so ist die Druckhöhe $EP = b.\text{Cos}\,2\alpha - b.\text{Cos}\,2\mu = 2b\,(\text{Sin}^2\mu - \text{Sin}^2\alpha)$, daher die Geschwindigkeit des durch das Element fliessenden Wassers $= 2\sqrt{g.2b(\text{Sin}^2\mu - \text{Sin}^2\alpha)} = 2\,\text{Sin}\,\mu\sqrt{\left\{2g.b\left(1-\frac{\text{Sin}^2\alpha}{\text{Sin}^2\mu}\right)\right\}}$.

Wir erhalten sonach die in einer Sekunde ausfliessende Wassermenge

$$dM = 32\,a.b.\text{Sin}^2\mu.\text{Cos}^2\mu.d\mu.\text{Sin}\,\mu\left(1-\frac{\text{Sin}^2\alpha}{2\,\text{Sin}^2\mu}\ldots\ldots\ldots\right)\sqrt{2g.b}$$

$= 32\,a.b\,(\text{Cos}^2\mu - \text{Cos}^4\mu - \frac{1}{2}\text{Sin}^2\alpha.\text{Cos}^2\mu)\,d\mu.\text{Sin}\,\mu\sqrt{2g.b}$. Das Integral dieser Gleichung ist

$M = 32\,a.b\left\{\frac{\text{Cos}^3\alpha - \text{Cos}^3\mu}{3} - \left(\frac{\text{Cos}^5\alpha - \text{Cos}^5\mu}{5}\right) - \text{Sin}^2\alpha\left(\frac{\text{Cos}^3\alpha - \text{Cos}^3\mu}{6}\right)\right\}\sqrt{2g.b}$, weil $M = 0$ werden muss, wenn $2\mu = 2\alpha$ ist.

Wir erhalten demnach den Ausfluss durch die ganze Oeffnung, wenn $\varphi = 2\mu = 180°$ oder $\mu = 90°$ und $\text{Cos}\,\mu = 0$ gesetzt wird, $M = 32\,a.b\left\{\frac{\text{Cos}^3\alpha}{3} - \frac{\text{Cos}^5\alpha}{5} - \frac{\text{Sin}^2\alpha.\text{Cos}^3\alpha}{6}\right\}\sqrt{2g.b}$

$$= 32\,a.b\left\{\text{Cos}^3\alpha\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{6}\right) - \text{Cos}^5\alpha\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{6}\right)\right\}\sqrt{2g.b} = .$$

$$\frac{16}{15}\,a.b\left\{5\left(\frac{1+\text{Cos}\,2\alpha}{2}\right) - \left(\frac{1+\text{Cos}\,2\alpha}{2}\right)^2\right\}\sqrt{g.b(1+\text{Cos}\,2\alpha)}.$$

Weil aber $2\,\text{Cos}^2\alpha = 1 + \text{Cos}\,2\alpha = 1 + \frac{b-e}{b} = \frac{2b-e}{b}$ ist, so ist auch

$$M = \frac{4}{15}\,\frac{a}{b}\,(8b+e)(2b-e)\sqrt{g(2b-e)}.$$

Für den **Kreis** ist $b = a$, folglich die Wassermenge $M' = \frac{4}{15}(8a+e)(2a-e)\sqrt{g(2a-e)}$.

§. 119.

Findet ein *Ausfluss aus Behältern* Statt, *welche keinen Zufluss erhalten*, so müssen offenbar die Geschwindigkeiten des ausfliessenden Wassers wie die Fig. 25. Quadratwurzeln aus den Druckhöhen abnehmen, folglich dieselbe *gleichförmig* Tab. *verzögerte Bewegung* eintreten, als wenn ein Körper senkrecht in die Höhe ge- 46. worfen wird. Nennen wir daher die Druckhöhe oder die Höhe des Wasserstandes zu Anfange des Ausflusses $=A$, so ist die anfängliche Geschwindigkeit $=2\sqrt{g.A}$ und die Endgeschwindigkeit $2\sqrt{g.0}=0$, demnach die mittlere Geschwindigkeit des Ausflusses $c=\sqrt{g.A}$ und die mittlere Quantität, welche in 1 Sekunde ausläuft $=m.f\sqrt{g.A}$. Wenn also T die Zeit ist, in welcher das ganze Wasser F.A aus dem Gefässe ausfliesst, so ist $T.m.f.\sqrt{g.A}=F.A$, woraus die Zeit $T=\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{A}{g}}$ folgt *)

Auf gleiche Art lässt sich auch die Zeit t berechnen, in welcher das Gefäss bis auf eine bestimmte Höhe a ausläuft und zwar hat man hierzu zweierlei Methoden.

Nach dem vorigen ist die Zeit, in welcher das ganze Gefäss ausfliesst, $T=\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{A}{g}}$ und die Zeit t', in welcher der übrige Theil, dessen Höhe a ist, ausfliesst $t'=\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{a}{g}}$, folglich die Zeit, in welcher das Wasser von der Höhe A auf a herabkommt $=T-t'=t=\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{A}{g}}-\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{a}{g}}=\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{A}{g}}\left(1-\sqrt{\frac{a}{A}}\right)$.

Wird hier der frühere Werth von T substituirt, so ist $t=T\left(1-\sqrt{\frac{a}{A}}\right)$. (I)

Auf eine andere Weise lässt sich diess auch so berechnen. Es ist offenbar, dass die anfängliche Geschwindigkeit $=2\sqrt{g.A}$ und die Endgeschwindigkeit, wenn nur noch die Wasserhöhe a im Gefässe ist $=2\sqrt{g.a}$, demnach die mittlere Geschwindigkeit des Ausflusses $=\sqrt{g.A}+\sqrt{g.a}$ seyn müsse. Hieraus folgt

$$t.m.f\left\{\sqrt{g.A}+\sqrt{g.a}\right\}=F(A-a) \text{ und } t=\frac{F(A-a)}{m.f\{\sqrt{g.A}+\sqrt{g.a}\}} \quad \text{(II)}.$$

*) Das prismatische Gefäss Fig. 25 sey am Boden mit einer kleinen Oeffnung versehen, die horizon- Fig. tale Querschnittsfläche desselben sey $=F$ und die Fläche der Oeffnung $=f$, endlich die Höhe des 25. Wasserstandes $AB=A$. Die Geschwindigkeit im ersten Augenblicke des Ausflusses wird demnach $=2\sqrt{g.A}$ seyn; da aber die Oberfläche des Wassers im Gefässe fortwährend fällt, so sey die noch übrige Höhe des Wassers $MB=x$ und daher die Geschwindigkeit für diese Höhe des Wassers $=2\sqrt{g.x}$. Die in der Zeit dt ausfliessende Wassermenge ist nun $=dt.m.f.2\sqrt{g.x}=-F.dx$, da das Wasser fällt, folglich die Höhe x in der Zeit dt um dx vermindert wird. Hieraus folgt $dt=-\frac{F.dx}{m.f.2\sqrt{g.x}}$. Wird diese Gleichung integrirt, so erhalten wir $t=\frac{F}{m.f}\left\{\sqrt{\frac{A}{g}}-\sqrt{\frac{x}{g}}\right\}$, weil bei dem Anfange des Ausflusses $t=0$ und $x=A$ ist. Wenn wir $x=0$ setzen, so erhalten wir die Zeit des ganzen Ausflusses $T=\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{A}{g}}$. Hieraus folgt $A=\left(\frac{m.f}{F}\right)^2.g.T^2$ oder *die Höhen des Wassers im Behälter sind den Quadraten der Zeit ihres Abflusses proporzional.*

§. 120.

Mit Hilfe der vorstehenden Gleichungen lassen sich nun alle Aufgaben auflösen, die über den Fall des Ausflusses aus Gefässen, welche keinen Zufluss erhalten, gestellt zu werden pflegen.

1tes Beispiel. An einem prismatischen Behälter, dessen horizontaler Querschnitt $F=100$ Quadrat Fuss $=14400$ Quadrat Zoll betragt, befindet sich in einer Tiefe von 10 Fuss unter dem Wasserspiegel eine 3 Quad. Zoll $=f$ grosse Oeffnung mit einer kurzen Ansatzröhre, in welcher Zeit wird das Wasser um 6 Fuss herabsinken?

In diesem Falle ist der Zusammenziehungskoeffizient nach Seite 158, $m=0{,}813$, demnach $\frac{F}{m.f}=\frac{14400}{0{,}813\,.\,3}=5904{,}06$, und die Zeit, in welcher das Gefäss ganz leer würde $T=5904{,}06\sqrt{\frac{10}{15{,}5}}=4742{,}3$ Sekunden $=1^h\ 19^{Min.}\ 2^{Sec.}$ Weil aber das Wasser im Gefässe nicht ganz ausfliesst, sondern nur um 6 Fuss sinken soll, so bleibt am Ende dieser Zeit noch eine Höhe von 4 Fuss $=a$ übrig, und es ist die Zeit t', in welcher dieser Wasserstand von 4 Fuss aus dem Gefässe noch ausfliessen würde $t'=5904{,}06\sqrt{\frac{4}{15{,}5}}=2999{,}3$ Sekunden. Der Unterschied dieser zwei Zeiten gibt nun die Zeit, in welcher das Wasser um 6 Fuss sinkt $t=T-t'=1743$ Sekunden $=29^{Min.}\ 3^{Sec.}$

Bedient man sich zur Auflösung dieser Aufgabe der im vorigen §. gefundenen Formel II, so ist $t=\frac{14400\,(10-4)}{0{,}813\,.\,3\,(\sqrt{15{,}5\,.\,10}+\sqrt{15{,}5\,.\,4})}=1743$ Sekunden, welcher Werth von dem vorigen gar nicht abweicht. Die Formel I ist jedoch der zweiten (II) der grössern Genauigkeit wegen im Allgemeinen vorzuziehen.

2tes Beispiel. Eine Anwendung dieser Theorie findet bei den Wasseruhren Statt, welcher sich die Griechen und Römer zur Bestimmung der Zeit bedienten. Diese Uhren waren grosse Gefässe, die mit Wasser (oder Sand) gefüllt wurden, das durch eine sehr kleine Oeffnung ausfloss. Auf dem Gefässe war eine Skale angebracht, wo man nach dem Stand des Wassers die Zeit ablesen konnte. Obgleich diese Wasseruhren nicht mehr im Gebrauche sind, so ist es doch interessant, die Skale einer solchen Uhr nach hydraulischen Grundsätzen verfertigen zu können oder die Höhe zu bestimmen, wo das Wasser nach Ablauf einer jeden viertel Stunde oder jeder Minute steht. Wir wollen als Beispiel den Fall annehmen, dass das Wasser aus einem zylindrischen Gefässe binnen 2 Stunden durch eine am Boden desselben angebrachte Oeffnung gänzlich ausfliessen soll. Man fragt 1tens um das Verhältniss dieser Oeffnung zum Querschnitte des Gefässes $\left(\frac{f}{F}\right)$ und 2tens um die Angabe der Höhen an der Wand des Gefässes, bei welchen das Wasser nach jeder viertel Stunde stehen wird?

Aus der Bedingniss der Aufgabe ist die Zeit der gänzlichen Entleerung $T=2\,.\,3600=\frac{F}{m.f}\sqrt{\frac{A}{g}}$, woraus $\frac{F}{f}=7200\,m\sqrt{\frac{g}{A}}$ folgt. Es sey die Höhe des zylindrischen Gefässes $A=15$ Zoll $=\frac{5}{4}$ Fuss und die Oeffnung in einer dünnen Platte ange-

bracht, demnach der Zusammenziehungskoeffizient nach Seite 158, $m = 0{,}619$, so ist $\frac{F}{f} = 0{,}619 \cdot 7200 \sqrt{\frac{15{,}515 \cdot 4}{5}} = 15701{,}6$ und wenn die Flächen Kreise sind, das Verhältniss ihrer Durchmesser $\frac{D}{d} = \sqrt{15701{,}6} = 125{,}31$. Wird daher der Durchmesser des Gefässes $D = 6$ Zoll angenommen, so wäre der Durchmesser der Ausflussöffnung $d = \frac{6}{125{,}31}$ Zoll $= \frac{1}{1{,}74}$ Linien oder etwas grösser als ½ Linie. Da es nicht wohl möglich ist, der Oeffnung genau diese Grösse zu geben, so pflegt man sie etwas kleiner zu machen, wornach die Entleerung des Gefässes etwas länger als 2 Stunden dauern wird. Wir wollen die ganze Dauer der Entleerung $= 2{,}5$ Stunden setzen, so ist für diesen Fall $\frac{D^2}{d^2} = 9000 \cdot 0{,}619 \sqrt{\frac{15{,}515 \cdot 4}{5}} = 19627$, demnach für $D = 6$ Zoll, die Ausflussöffnung $d = \frac{1}{23{,}35}$ Zoll $= \frac{1}{1{,}95}$ oder sehr nahe ½ Linie.

Da die Eintheilungen von viertel zu viertel Stunde gemacht werden sollen, so müssen wir die ganze Höhe in $2{,}5 \cdot 4 = 10$ Theile eintheilen. Weil aber die Höhen des Wassers in Behältern den Quadraten der Zeit ihres Ausflusses proporzional sind, so wird sich die Höhe der untersten oder ersten Abtheilung zur Höhe des ganzen Gefässes wie $1^2 : 10^2 = 1 : 100$ verhalten, also ist die Höhe der untersten Abtheilung $= 15'' \cdot \frac{1}{100} = 0{,}15$ Zoll oder $1{,}8$ Linie. Aus gleicher Ursache wird die zweite Abtheilung auf der Höhe 4 Mal $1{,}8$ Linie $= 7{,}2$ Linie, die dritte Abtheilung auf der Höhe 9 Mal $1{,}8 = 16{,}2$ Linie, die vierte Abtheilung auf der Höhe $16 \cdot 1{,}8 = 28{,}8$ Linie und die zehnte oder letzte Abtheilung auf die Höhe $100 \cdot 1{,}8 = 180$ Linien $= 15$ Zoll zu stehen kommen.

3tes Beispiel. Ein Fischteich hat an seiner Oberfläche 90000 Quad. Klafter, der Fachbaum der Schütze befindet sich 3 Fuss unter dem obersten Wasserspiegel. Zum Vortheil einer Mühle, welche in jeder Sekunde 2 Kubikfuss Wasser bedarf, soll der Teich gezogen und das Wasser so weit abgelassen werden, bis der Spiegel desselben um 1 Fuss erniedrigt wird; es fragt sich:

1tens. Wie gross der Kubikinhalt des abzulassenden Wassers sey,

2tens. wie lange die Mühlen dadurch im Gange erhalten werden, und

3tens. wie hoch zu jeder Zeit die Schütze zu ziehen sey, damit der Ausfluss in jeder Sekunde die verlangten 2 Kubik Fuss betrage.

Zur genauen Auflösung der ersten Frage würden sehr viele Profile des Teiches erfordert, zu deren Aufnahme und Berechnung die nothwendige Zeit und Mühe benöthigt wird. Zur Vermeidung einer solchen in einem praktischen Falle eintretenden Berechnung, wollen wir uns einer approximativen Auflösung bedienen. Es sey nämlich die Länge des Teiches an der Oberfläche $= 600$ Klafter und aus einem Versuche habe sich ergeben, dass die Tiefe des Wassers von 1 Fuss eine Länge von 40 Klaftern erfordert. Demnach wird die Länge des auf 1 Fuss erniedrigten Teichwassers 560 Klafter seyn. Nehmen wir nun an, dass diese Teichfläche der obern ähnlich ist, so haben wir nach dem Grundsatze, dass die Flächen sich wie die Quadrate ähnlicher Seiten verhalten, die Proporzion $600^2 : 560^2 = 90000\,□^\circ : 78400\,□^\circ$. Nach den Regeln der Stereometrie beträgt der Kubik-

inhalt eines abgestutzten Kegels, dessen obere Fläche $F = 90000 . 36^{\Box'}$ und die untere $f = 78400 . 36^{\Box'}$, dann die Höhe $h = 1$ Fuss ist,

$\frac{h}{3}(F + \sqrt{F . f} + f) = \frac{1}{3}(90000 + \sqrt{90000 . 78400} + 78400)\ 36 = 3028800$ Kubikfuss, welches der Kubikinhalt des abzulassenden Wassers ist.

Die Beantwortung des zweiten Theiles der Frage ergibt sich, wenn wir den Kubikinhalt des abzulassenden Wassers mit dem Bedarf von 2 Kubikfuss in jeder Sekunde dividiren, wodurch wir 1514400 Sekunden oder 17 Tage 12 Stunden und 40 Minuten erhalten, nach deren Verlauf das Wasser im Teiche um 1 Fuss niedriger stehen wird.

Um den dritten Theil der Frage, wie hoch nämlich die Schütze aufgezogen werden muss, zu beantworten, wollen wir die Breite der Schützenöffnung $b = 2$ Fuss und die unbekannte Höhe dieser Oeffnung $= z$, die Höhe des Wasserstandes über dem Fachbaume $= h$ und den Zusammenziehungs-Koeffizienten $m = 0{,}633$ setzen. Die in einer Sekunde ausfliessende Wassermenge ist $M = m . b . z . 2\sqrt{g . h}$, oder in unserm Falle, wo im Anfange der Wasserstand $h = 3$ Fuss ist, $2 = 0{,}633 . 2 . z . 2\sqrt{15{,}5 . 3}$, woraus $z = 0{,}116$ Fuss $= 1{,}4$ Zoll folgt. Zu Ende des berechneten Ablaufes ist die Höhe des Wasserstandes nur $h = 2$ Fuss, also $2 = 0{,}633 . 2 . z' . 2\sqrt{15{,}5 . 2}$, woraus sich $z' = 0{,}142$ Fuss $= 1{,}7$ Zoll ergibt. Aus dem Vergleiche beider Werthe sieht man, dass die Höhe der Schütze während der Zeit des Ablaufes bei $1\frac{1}{2}$ Zoll erhalten werden müsse.

§. 121.

Wenn sich an einem prismatischen Gefäss eine **oben offene rechtwinkelige Oeffnung** in einer vertikalen Wand befindet, so lässt sich **die Zeit**, in **welcher der Wasserspiegel um eine gegebene Tiefe sinkt**, auf folgende Art berechnen:

Es sey der horizontale Querschnitt des Behälters $= F$, die Breite der rechtwinkeligen Oeffnung $= b$, die Höhe des Wasserstandes vor dem Anfange des Ausflusses $= H$, und die nach Verlauf der Zeit t noch übrige Höhe des Wasserstandes $= x$, so ist die Zeit, in welcher das Wasser von der Höhe H auf die Höhe x herabfällt, nach der Lehre der höhern Analysis, $t = \frac{3F}{2m . b}\left\{\frac{1}{\sqrt{g . x}} - \frac{1}{\sqrt{g . H}}\right\}$ *).

Fliesst das Wasser nicht ganz aus, und es bleibt die Höhe h übrig, so ist die Zeit, in welcher das Wasser von der Höhe H auf h herabfiel $t = \frac{3F}{2m . b}\left\{\frac{1}{\sqrt{g . h}} - \frac{1}{\sqrt{g . H}}\right\}$. Soll

*) Wenn das Wasser von der Höhe H bis zur unbestimmten Höhe x ausgeflossen ist, oder die im Gefässe noch übrige Höhe $= x$ ist, so ist nach §. 111 die in 1 Sekunde ausfliessende Wassermenge $= \frac{2}{3} m . b . x . 2\sqrt{g . x}$, folglich in der Zeit dt die Wassermenge $= \frac{2}{3} m . b . x . 2\sqrt{g . x} . dt$. Da nun in derselben Zeit dt der Wasserspiegel um die Höhe dx sinkt, folglich die im Behälter noch übrige Wassermenge $F . x$ um $F . dx$ vermindert wird, so ist die erste Wassermenge der letztern gleich, wir erhalten demnach $dt = -\frac{3F . dx}{4m . b . x . \sqrt{g . x}}$. Hiervon ist mit Rücksicht, dass die Zeit $t = 0$ wird, wenn $x = H$ ist, das Integral $t = \frac{3F}{2m . b}\left\{\frac{1}{\sqrt{g . x}} - \frac{1}{\sqrt{g . H}}\right\}$.

aber der Behälter ganz leer werden, so wird $x=0$, also die Zeit des gänzlichen Ausflusses unendlich gross, oder der Wasserbehälter fliesst nie ganz aus. Die Ursache hiervon ist, dass bei sehr kleinen Höhen das Wasser nur in Tropfen fliessen kann, wobei aber wegen der unendlich kleinen Wasserstandshöhe die Geschwindigkeit eben so klein, folglich die Zeit des Zuflusses zur Oeffnung und jene zur völligen Entleerung des Gefässes unendlich gross wird.

1tes Beispiel. Ein Fischbehälter hat an seiner Oberfläche 800 Quad. Klafter $=28800$ Quad. Fuss $=F$, die Breite der rechtwinkeligen oben offenen Oeffnung oder des Wasserablaufes sey $b=2$ Fuss und die Höhe des Wasserstandes an derselben $H=4$ Fuss. Wird nun der Ablauf ganz geöffnet oder die Schütze ganz aufgezogen, so lässt sich die Zeit, in welcher dieser Behälter bis auf $h=1$ Fuss Wassertiefe leer wird, leicht berechnen.

Die Substituzion unserer Werthe in die obige Gleichung gibt nämlich

$$t=\frac{3.28800}{2.0{,}633.2}\left\{\frac{1}{\sqrt{15{,}5.1}}-\frac{1}{\sqrt{15{,}5.4}}\right\}=4334 \text{ Sek.}=1^{h}\ 12^{\text{Min.}}\ 14^{\text{Sek.}}$$

2tes Beispiel. Ein Teich hat eine Oberfläche von 90000 Quad. Klafter $=3240000$ Quad. Fuss und einen mittlern Wasserstand von 2 Fuss über den Fachbaum der Schütze; durch einen Wolkenbruch wird dieser Wasserstand auf $H=7$ Fuss erhöht, und da man bei dieser Wasserhöhe einen Dammbruch besorgt, so werden alle Schützen ganz aufgezogen, um den Wasserspiegel auf seinen frühern Stand zu bringen oder um $a=5$ Fuss zu senken. Es fragt sich, in welcher Zeit t diese Wassermenge abgelaufen seyn wird, wenn die Breite aller Schützenöffnungen zusammen $b=40$ Fuss beträgt.

Die höhere Analysis *) gibt uns nach der unter dem Texte beigefügten genauen Auflösung eine Zeit von $7^{h}\ 48^{\text{Min.}}$ für diesen Fall an.

*) Es befinde sich nach der Zeit t der Wasserspiegel auf der Höhe x, so beträgt die in der Zeit dt abfliessende Wassermenge $\frac{2}{3}m.b.x.dt.2\sqrt{g.x}$. Die auf der Höhe x Statt findende Oberfläche des Wassers sey $=y$ und die Höhe, um welche sich der Wasserspiegel in dem Zeitelemente dt senkt $=dx$, so ist auch die abgeflossene Wassermenge $-y.dx$, und es muss
$\frac{2}{3}m.b.x.dt.2\sqrt{g.x}=-y.dx$ seyn.

Um der schwierigen Bestimmung der Fläche y auszuweichen, wollen wir das §. 120 im 3ten Beispiele angewandte Verfahren als Annäherung auch hier brauchen, und voraussetzen, dass die Länge des Teiches $l=600$ Klafter betrage, und nach den angestellten Lokaluntersuchungen immer um $\lambda=40$ Klafter zunehme, so oft die Wasserhöhe um $\alpha=1$ Fuss steigt. Wenn demnach die Wasserhöhe um x steigt, so wird dadurch die Länge des Teiches um $\frac{\lambda.x}{\alpha}$ vergrössert, und $=l\left(1+\frac{\lambda.x}{\alpha.l}\right)$ seyn. Setzen wir bei unserm Teiche die Oberflächen nach den verschiedenen Wasserhöhen sämmtlich einander ähnlich, so werden sich diese Flächen, wie die Quadrate der Längen verhalten, und es wird $y=F\left(1+\frac{\lambda.x}{\alpha.l}\right)^2$ seyn. Wird dieser Werth in der obigen Gleichung substituirt, so folgt

$$dt=-\frac{3F}{4m.b\sqrt{g}}\cdot\frac{dx}{x\sqrt{x}}\left(1+\frac{\lambda.x}{\alpha.l}\right)^2=\frac{3F}{4m.b.\sqrt{g}}\left\{-x^{-\frac{3}{2}}-\frac{2\lambda.x^{-\frac{1}{2}}}{\alpha.l}-\frac{\lambda^2.x^{\frac{1}{2}}}{\alpha^2.l^2}\right\}dx.$$

Weil nun $t=0$ werden muss, wenn der Wasserstand über dem Fachbaume $x=H$ ist, so findet man das vollständige Integrale dieser Gleichung

$$t=\frac{3F}{4m.b.\sqrt{g}}\left\{\frac{2}{\sqrt{x}}-\frac{2}{\sqrt{H}}+2\cdot\frac{2\lambda}{\alpha.l}\left(H^{\frac{1}{2}}-x^{\frac{1}{2}}\right)+\frac{2\lambda^2}{3\alpha^2.l^2}\left(H^{\frac{3}{2}}-x^{\frac{3}{2}}\right)\right\}.$$ Soll nun der Wasser-

§. 122.

Fig. 1. Tab. 47. Wenn zwei Gefässe MNEA, und AEQP durch eine Scheidewand AD so mit einander verbunden sind, dass das Wasser durch die Oeffnung DE aus einem Gefässe in das andere treten kann und nun in das erste Gefäss so viel Wasser zuläuft, dass es fortwährend auf der Höhe MN erhalten wird, so wird auch das Wasser in dem zweiten Gefässe AEQP nach und nach steigen und endlich auf denselben Wasserstand AE gelangen. Im ersten Augenblicke fliesst das Wasser mit der Geschwindigkeit $c = 2\sqrt{g \cdot AD}$ aus dem ersten Gefässe in das zweite über. Diese Geschwindigkeit nimmt jedoch fortwährend ab und beträgt im Punkte C nur noch $2\sqrt{g \cdot AC}$, und in B nur $2\sqrt{g \cdot AB}$. In beiden Fällen hebt sich nämlich der Druck des auf gleicher Höhe befindlichen Wasserstandes CE und BE auf und es bleibt bloss der Unterschied der Druckhöhen $AE - CE = AC$ und $AE - BE = AB$ als die wirksame Druckhöhe übrig, wodurch nun die Geschwindigkeit des Wasserausflusses hervorgebracht wird.

Die Zeit der Anfüllung des Gefässes AEQP lässt sich mit Hilfe des §. 119 leicht finden. Das Wasser hat nämlich eine gleiche verminderte Bewegung, als wenn es sich durch die Oeffnung $DE = f$ frei ausleeren sollte. Es wird demnach auch hier die Zeit der Anfüllung $T = \frac{F}{m \cdot f}\sqrt{\frac{H}{g}}$ seyn, wo $H = AD$ und F die Querschnittsfläche des Gefässes AEQP ist.

§. 123.

Werden mehrere oben offene Gefässe dergestalt mitsammen durch Scheidewände verbunden, dass das Wasser aus einem Gefässe in das andere durch unten angebrachte Oeffnungen laufen kann, so lässt sich der Ausfluss des Wassers aus solchen zusammengesetzten Behältern nach den bisherigen Grundsätzen ohne Anstand berechnen. Nehmen wir den Fall an, dass drei solche Gefässe mitsammen durch
Fig. 2. Scheidewände verbunden werden, und dass der Zufluss des Wassers in das erste Gefäss eben so gross als der Abfluss desselben aus dem letzten Gefässe sey, so kann man 1[tens] die Höhe, auf welcher das Wasser in einem jeden Gefässe stehen bleibt und 2[tens] die Wassermenge berechnen, welche auf diese Art aus einem Gefässe in das andere fliesst.

Zu dieser Bestimmung wollen wir annehmen, dass das Wasser in dem Gefässe bereits in einem Beharrungszustande sey. Vom Anfange nämlich, wenn das Wasser in das erste Gefäss einfliesst, werden die Höhen, auf welchen es in demselben und in den

spiegel um die Grösse $a = 5$ Fuss gesenkt werden, so ist $x = H - a$ zu setzen und man findet nach der gehörigen Redukzion:

$$t = \frac{3F}{2m \cdot b \cdot \sqrt{g \cdot H}}\left\{\sqrt{\frac{H}{H-a}}\left(1 - \frac{2\lambda(H-a)}{\alpha \cdot l} - \frac{\lambda^2}{3\alpha^2 \cdot l^2}(H-a)^2\right) - 1 + \frac{2\lambda \cdot H}{\alpha \cdot l} + \frac{\lambda^2 \cdot H^2}{3\alpha^2 \cdot l^2}\right\}.$$

Werden in diese Gleichung die Werthe unserer Aufgabe gesetzt, so erhalten wir:

$$t = \frac{3 \cdot 90000 \cdot 36}{2 \cdot 0{,}633 \cdot 40\sqrt{15{,}5 \cdot 7}}\left\{\sqrt{\frac{7}{2}}\left(1 - \frac{2 \cdot 40 \cdot 2}{600} - \frac{1}{3}\left(\frac{40}{600}\right)^2 \cdot 4\right) - 1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 7}{600} + \frac{1}{3}\left(\frac{40}{600}\right)^2 \cdot 49\right\}$$

oder $t = 18427\{1{,}361 - 1 + 0{,}933 + 0{,}073\} = 25190^{Sek.} = 6^h\ 59^{Min.}\ 50^{Sek.}$

andern Gefässen steht, sich ändern, jedoch nach einiger Zeit einen unveränderlichen Stand annehmen. Es seyen x, y und z die Höhen, um wie viel die Oberfläche des Wassers in jedem Gefässe über der Oberfläche des nächstfolgenden steht, so ist die Summe dieser Höhen der ganzen Druckhöhe H gleich oder $x + y + z = H$ (I). Fig. 2. Tab. 47.

Ist M die Wassermenge, welche in 1 Sekunde in das oberste Gefäss zufliesst, so muss dieselbe auch in das zweite und dritte Gefäss in derselben Zeit gelangen. Da aber die Geschwindigkeiten, womit das Wasser aus einem Gefässe in das andere strömt, nur von dem Unterschiede der Druckhöhe des Wassers in beiden Gefässen herrühren, so erhalten wir $M = m.f.2\sqrt{g.x}$ (II). Ferner $m.f.2\sqrt{g.x} = m.f'.2\sqrt{g.y}$ (III), endlich $m.f'.2\sqrt{g.y} = m.f''.2\sqrt{g.z}$ (IV).

Aus diesen 4 Gleichungen lässt sich nebst den Grössen x, y und z noch eine z. B. M bestimmen, wenn nur f, f', f'', H und m bekannt sind; ist aber M gegeben, so kann man H finden. Es ist nämlich $y = x\left(\frac{f}{f'}\right)^2$ und $z = x\left(\frac{f}{f''}\right)^2$ und wird diess substituirt

$$H = x + x\left(\frac{f}{f'}\right)^2 + x\left(\frac{f}{f''}\right)^2, \text{ woraus } x = \frac{H}{1 + \left(\frac{f}{f'}\right)^2 + \left(\frac{f}{f''}\right)^2}, \text{ demnach auch}$$

$$y = \frac{H\left(\frac{f}{f'}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f'}\right)^2 + \left(\frac{f}{f''}\right)^2}, \text{ und } z = \frac{H\left(\frac{f}{f''}\right)^2}{1 + \left(\frac{f}{f'}\right)^2 + \left(\frac{f}{f''}\right)^2}, \text{ endlich}$$

$$M = m.f.2\sqrt{g\left\{\frac{H}{1 + \left(\frac{f}{f'}\right)^2 + \left(\frac{f}{f''}\right)^2}\right\}}.$$

Aus dieser Rechnung ersehen wir, dass die Wassermenge, welche aus einem zusammengesetzten Behälter ausfliesst, desto kleiner ist, durch je mehr Oeffnungen das Wasser sich bewegt. Ist nämlich bloss eine Oeffnung vorhanden, oder fliesst das Wasser aus dem ersten Gefässe sogleich frei ab, so ist nach dem vorigen, $M = m.f.2\sqrt{g.H}$. Sind Oeffnungen vorhanden oder hängen zwei Gefässe zusammen, so ist

$$M' = m.f.2\sqrt{g.\left\{\frac{H}{1 + \left(\frac{f}{f'}\right)^2}\right\}}. \text{ Wäre } f = f', \text{ so ist } M' = m.f.2\sqrt{g.\frac{H}{2}}.$$ Sind drei Oeffnungen von gleicher Grösse vorhanden, so ist

$$x = \frac{H}{1+1+1} = \frac{H}{3} = y = z$$ und die Wassermenge $M'' = m.f.2\sqrt{g.\frac{H}{3}}$. Demnach stehen die Wassermengen, welche bei gleicher Grösse von f durch 1, 2, 3, ... Behälter fliessen können, in dem Verhältnisse $\frac{1}{\sqrt{1}} : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}} \ldots\ldots = 1 : 0{,}707 : 0{,}577 \ldots$; das Wasser wird daher desto langsamer fliessen, durch je mehr Oeffnungen es geleitet wird.

Es muss jedoch nothwendig bemerkt werden, dass diese Berechnung nur dann für richtig anzunehmen sey, wenn die zwischen dem Zuflusse und Abflusse des Wassers liegenden Behälter von einer solchen Grösse sind, dass die Geschwindigkeit, womit das

Wasser aus einer Oeffnung ausfliesst, auf die Geschwindigkeit, mit der es aus der nächsten Oeffnung (des zweiten Behälters) fliesst, keinen Einfluss hat, in welchem Falle daher das Wasser bei seinem Abflusse vor jeder Oeffnung als stillstehend betrachtet werden kann.

Liegen mehrere Teiche so übereinander, dass die Wasserspiegel der unteren Teiche, zeitweilig z. B. bei einem starken Regengusse so anschwellen, dass dieselben die Zapfenöffnungen der obern Teiche bedecken, so findet dieselbe Rechnung Statt. Es wird nämlich desto weniger Wasser aus diesen Teichen durch das nächstliegende Thal abfliessen, jemehr solche Teiche darin angelegt sind. Werden dagegen die untern Teiche aufgelassen (abgebrochen), so fliesst die ganze Wassermasse durch die einzige Oeffnung des obern Teiches ohne weiteres Hinderniss in kürzerer Zeit ab, und die Flüsse, in welche diese Wässer aus mehreren solchen Thälern strömen, schwellen schneller an. Hieraus erklärt sich, warum z. B. in Böhmen nach dem Aufheben mehrerer Teiche öftere und schnellere Anschwellungen der grossen Flüsse beobachtet wurden, als dieses bei dem Bestehen derselben Teiche früher der Fall war. Auch ersieht man hieraus, dass in dem umgekehrten Falle, wenn man das Wasser in einem Lande länger aufhalten und für die Landwirthschaft, Fabriken oder zu andern Zwecken verwenden will, dieses durch Anlegung mehrerer Teiche am zweckmässigsten geschehen könne. Ein weiterer Grund für die Anlage der Teiche ist aus der Verordnung Kaiser Karl IV. ersichtlich, welcher mehrere Teiche in Böhmen zu dem Zwecke anlegen liess, damit, wie es in der Verordnung heisst, die Menge der Dünste und Fische vermehrt würde („*Ut Numerus vaporum et piscium augeatur*").

§. 124.

Fliesst das Wasser nicht in offenen Behältern, sondern in geschlossenen Röhren, so findet dieselbe Rechnung Statt; es bedeuten nämlich x, y, z die Höhen, welche erfordert werden, um das Wasser aus einem Gefässe in das andere zu drücken oder zum Ausflusse zu bringen. Hier findet man genau dieselben Gleichungen. Es muss jedoch abermals bemerkt werden, dass bei Röhrenleitungen, die aus mehreren Stücken von ungleichem Durchmesser zusammengesetzt, oder bei ihrer Verbindung nicht so zusammengefügt sind, dass sie als eine einfache Röhre betrachtet werden können, die angeführte Rechnung nur dann angewendet werden kann, wenn die Geschwindigkeit, welche dem Wasser durch den Ausfluss aus der ersten Röhre in die zweite mitgetheilt wird, durch den Widerstand der Wände der zweiten Röhre wieder aufgehoben wird. In diesem Falle wird nämlich in der Formel für M die Gefällshöhe H bei einer jeden solchen Zusammensetzung, wo die Fläche f kleiner wird, einen neuen Divisor bekommen, demnach wird eine solche Röhrenleitung desto weniger Wasser geben, je mehr unrichtige Zusammenfügungen in derselben vorkommen.

Fig. 3. Tab. 47.

§. 125.

Eine wichtige Anwendung der vorstehenden Berechnung findet bei der Bestimmung der Zeit Statt, in welcher eine Schleusse gefüllt und entleert wird.

Vor Behandlung dieses Gegenstandes glauben wir, unsern Lesern eine kurze Darstellung der Vortheile der Schiffahrt mittelst Kanälen und Schleussen und der Art, wie mittelst derselben Berge und Thäler übersetzt werden, zu geben.

Die Schiffahrt auf Flüssen wurde seit den ältesten Zeiten ausgeübt. Da jedoch die Rückfahrt oder sogenannte Bergfahrt auf den Flüssen mit bedeutenden Hindernissen verbunden war und eine sehr grosse Zugkraft erforderte, so verfiel man auf den Gedanken, künstliche Schiffahrtstrassen, die man Kanäle nannte, zu graben. Diese Kanäle wurden anfangs bloss horizontal angelegt; die Lasten wurden auf denselben in Booten oder Schiffen mit sehr geringer Zugkraft fortgebracht, und man fand, dass ein Pferd 500 bis 600 Zentner mit gleicher Anstrengung fortschaffen konnte, mit welcher es auf einer *Chaussée* 15 bis 20 Zentner fortzog. Diese künstliche Schiffahrt blieb durch mehrere Jahrhunderte bloss den ganz flachen Ländern vorbehalten, bis man im Jahre 1642 zuerst auf den glücklichen Gedanken verfiel, Schleussen anzulegen, worin die Schiffe ohne Anwendung einer besondern Zugkraft mehrere Fuss gehoben oder herabgelassen, und auf diese Art selbst Berge von bedeutenden Höhen ohne Vermehrung des Kraftaufwandes übersetzt werden konnten.

England hatte bis zum Jahre 1755 noch keine Kanäle. Zu dieser Zeit entschloss sich der Herzog von *Bridgewater* einen Kanal bei *Manchester* zum Behufe des Transportes seiner Steinkohlen von *Worsley* nach *Manchester* anzulegen. Der Bau dieses Kanals begann unter der Leitung des Ingenieurs *Brindley*, in Folge einer Parlamentsakte vom Jahre 1758, und wurde binnen einigen Jahren glücklich vollendet. Dieser Bau both für die damalige Zeit sehr grosse Schwierigkeiten dar, indem mehrere Objekte von Bedeutenheit hierbei ausgeführt und der Kanal auf einem *Aquaeduct* mittelst dreier Bogen quer über den schiffbaren Fluss *Yrrwell* geführt werden musste. Der glückliche Erfolg dieser Unternehmung, welche ihrem Eigenthümer einen ungeheuern Gewinn brachte, veranlasste sehr bald die Bildung vieler Akziengesellschaften, auf deren Kosten Kanäle in allen Gegenden von England angelegt wurden. Der Verkehr in diesem Lande wurde durch diese künstliche Schiffahrt so sehr erleichtert, dass die ersten Staatsmänner noch gegenwärtig einen grossen Theil des Wohlstandes in England seinem ausgedehnten Kanalsysteme zuschreiben. *Huerne de Pommeuse* gibt in seinem Werke: „*Des Canaux navigables, considérés d'une manière générale avec des recherches comparatives sur la navigation intérieure de la France et celle de l'Angleterre; Paris* 1822." eine Uibersicht der bis dahin in England ausgeführten Kanäle, gemäss welcher 102 Kanäle in einer Länge von 2682¼ englischen Meilen (568,6 N. Oe. Meilen) erbaut waren, worunter noch jene Kanäle, deren Länge weniger als 5 engl. Meilen betrug, nicht begriffen sind. Da seit jener Zeit mehrere Kanäle verlängert und neue angelegt wurden, so kann man die Länge der gegenwärtig in England bestehenden Schiffahrtskanäle wenigstens auf 3000 engl. Meilen (636 N. Oe. Meilen) anschlagen.

§. 126.

Die Schiffe werden, wie wir bereits erinnerten, in den Schleussen durch den blossen Druck des Wassers ohne einer weitern Kraft gehoben oder gesenkt. An jenen Strecken, wo der Kanal eine Anhöhe zu überschreiten hat, wird nämlich derselbe durch ein oder mehrere Schleussen unterbrochen. Eine solche Schleusse ist ein Behälter ACHGB, worin ein oder mehrere Schiffe Platz haben; an dem obern und untern Ende desselben Fig. 4. Tab. 47.

Fig. 4. Tab. 47. sind Thore AC und BG angebracht, in welchen kleinere Oeffnungen C und G mit Schützen vorhanden sind. Hierdurch kann der Behälter oder die Schleussenkammer mit Wasser gefüllt und dasselbe wieder abgelassen werden; derselbe Zweck kann aber auch durch besondere zur Seite der Thore befindliche Ablaufkanäle erreicht werden. Die Kanäle werden von einer Schleusse zur andern horizontal fortgeführt, demnach können auch die Schiffe, welche sie befahren, mit gleicher Leichtigkeit in beiden Richtungen fortgehen. Einer Schleusse wird gewöhnlich ein Gefälle von 6 bis 8 Fuss gegeben. Wenn daher die Anhöhen, welche Kanäle übersetzen, steil sind, so pflegt man zwei oder mehrere Schleussen unmittelbar an einander zu stellen.

Soll nun ein Schiff den Kanal hinauffahren, so wird die Schleussung auf folgende Art vorgenommen: Das Schiff fährt aus dem unteren Kanal in die Schleussenkammer ein, worauf das untere Thor geschlossen und die im oberen Thore befindliche Schütze aufgezogen wird. Das Wasser strömt durch die Schützenöffnung in die Schleussenkammer und steigt darin so lange, bis es die Höhe des Wasserspiegels im Kanale oberhalb der Schleusse erreicht hat. Bei diesem Steigen wird das Schiff zugleich gehoben und wenn der Wasserspiegel in der Schleusse und im Kanale auf gleicher Höhe ist, werden die oberen Schleussenthore geöffnet und das Schiff fährt itzt im Kanale weiter, bis es abermals zu einer Schleusse gelangt.

Soll im Gegentheile ein Schiff aus dem oberen Kanale in den unteren gelangen, oder bergab fahren, so führt man es bis zu dem obern Schleussenthore. Ist die Schleussenkammer gefüllt, so fährt das Schiff sogleich hinein; ist diess aber nicht der Fall, so bleibt das Schiff am obern Schleussenthore stehen und es wird die in diesem Thore befindliche Schütze aufgezogen, nachdem das untere Thor geschlossen wurde. Das Wasser in der Kammer wird nun durch das von oben zuströmende Wasser so lange anwachsen, bis es sich mit demselben in einer Ebene befindet. Itzt öffnet man die oberen Schleussenthore, und führt das Schiff in die Kammer, schliesst hierauf das obere Thor und öffnet die Schütze im unteren Thore. Durch diese fliesst das Wasser aus der Kammer ab, und fällt endlich bis auf den Wasserspiegel im untern Kanale, worauf man die untern Thorflügel öffnet und das Schiff hinausfahren lässt. Es leuchtet von selbst ein, dass die Kammer nicht für jede Schleussung eigends gefüllt werden müsse. Wenn nämlich ein Schiff hinauf fährt und hierauf ein zweites hinabfährt, so wird die Schleussenkammer nur zum Behufe des Hebens des Schiffes gefüllt und das nächste Schiff geht nun mit derselben Wassermasse aus dem oberen Spiegel in den unteren herab. Wird ein Kanal auf diese Art über ein Gebirge geführt, so unterliegt diess zwar keinem Anstande, allein es muss immer das zur Schleussung erforderliche Wasser aus dem höchsten Punkte (dem Scheidungspunkte) in den Kanal zugeführt und zu diesem Behufe auf der grössten Höhe die nothwendigen Wasserbehälter angelegt werden. Der Wasserbedarf wird aus der Anzahl Schiffe, welche den Kanal jährlich befahren und der Grösse der Schleussenkammern mit Rücksicht auf die fortwährende Verdampfung des Wassers berechnet.

§. 127.

Die Zeit, binnen welcher eine Schleussenkammer mit Wasser gefüllt wird, berechnet man auf folgende Art: Wird die im oberen Thore befindliche

Schütze aufgezogen, so fliesst das Wasser mit der Geschwindigkeit $c = 2\sqrt{g \cdot h}$ heraus, wo h die Höhe des Wasserstandes bis zur Mitte der Ausflussöffnung bezeichnet. Diese Geschwindigkeit dauert so lange, bis der untere Theil CEFD der Schleussenkammer, dessen kubischen Inhalt wir Q nennen wollen, bis zur Mitte der Ausflussöffnung gefüllt wird; demnach ist die hierzu erforderliche Zeit $= \frac{Q}{m \cdot f \cdot 2\sqrt{g \cdot h}}$. Fig. 4. Tab. 47.

Die Zeit, in welcher ACDB gefüllt wird, berechnet man nach §. 119. Es ist nämlich die anfängliche Geschwindigkeit, wenn das Wasser gerade über die Mitte der Oeffnung steigt $= 2\sqrt{g \cdot h}$ und da die Druckhöhe und demnach auch die Geschwindigkeit am Ende $= 0$ ist, so wird die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser vor der Oeffnung steigt und den Raum ACDB anfüllt $= \sqrt{g \cdot h}$ seyn, demnach ist die zur Anfüllung erforderliche Zeit $= \frac{R}{m \cdot f \cdot \sqrt{g \cdot h}}$. Die Zeit, in welcher die ganze Kammer volläuft, ist daher $T = \frac{Q}{m \cdot f \cdot 2\sqrt{g \cdot h}} + \frac{R}{m \cdot f \cdot \sqrt{g \cdot h}} = \frac{Q + 2R}{m \cdot f \cdot 2\sqrt{g \cdot h}}$.

Die Zeit, in welcher eine volle Schleussenkammer wieder ablauft, lässt sich auf gleiche Art berechnen. Nennen wir das Gefälle der Schleusse oder den Höhenunterschied vom obern bis zum unteren Wasserspiegel $= H$, so ist die anfängliche Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus der Oeffnung im untern Thore ausströmt $= 2\sqrt{g \cdot H}$; ist aber die Schleussenkammer ganz entleert, so ist in dem Augenblicke, als diess eintritt, die Geschwindigkeit des Ausflusses $= 0$, demnach die mittlere Geschwindigkeit $= \sqrt{g \cdot H}$. Hieraus ergibt sich die Zeit, in welcher der kubische Inhalt $Q + R$ der Kammer ausfliesst $T' = \frac{Q + R}{m \cdot f \cdot \sqrt{g \cdot H}}$.

Bei beiden Berechnungen wurde angenommen, dass der Wasserspiegel im Kanale oberhalb und unterhalb der Schleusse sich durch die Anfüllung oder Entleerung derselben nicht ändere, oder dass das Wasser im Kanale weder fällt noch steigt. Diese Annahme unterliegt keinem Anstande, indem der Kubikinhalt einer Schleussenkammer im Verhältnisse zum Kubikinhalte des Wassers in den anstossenden Kanalstrecken gewöhnlich so unbedeutend ist, dass er daselbst keine merkliche Aenderung des Wasserspiegels bewirkt.

Beispiel. Die gewöhnlichen englischen Kanalschiffe sind 60 Fuss lang; nehmen wir die untere Länge des Wasserspiegels in der Kammer $EF = l = 66$ Fuss und die obere Länge $CD = L = 72$ Fuss, dann die Breite der Schleusse $b = 8$ Fuss, den Fall einer Schleusse H ebenfalls $= 8$ Fuss und die Höhe des Wasserstandes in der oberen Kanalstrecke bis zur Mitte der Oeffnung $h = 3{,}5$ Fuss, endlich die Fläche der Ausflussöffnung $f = 2$ Quad. Fuss an, so ist $Q = \left(\frac{L + l}{2}\right)\left(H - h\right) b = \left(\frac{72 + 66}{2}\right)\left(8 - 3{,}5\right) 8 = 2484$ Kub. Fuss; ferner $R = L \cdot b \cdot h = 72 \cdot 8 \cdot 3{,}5 = 2016$ Kub. Fuss, demnach die Zeit, binnen welcher die Schleusse volläuft $T = \frac{2484 + 2 \cdot 2016}{0{,}619 \cdot 2 \cdot 2\sqrt{15{,}5 \cdot 3{,}5}} = 357^{Sec.} = 5^{Min.}\, 57^{Sec.}$ und

die Zeit, in welcher diese Schleusse entleert wird

$$T' = \frac{2484 + 2016}{0{,}619 \,.\, 2 \,.\, \sqrt{15{,}5 \,.\, 8}} = 326^{\text{Sec.}} = 5^{\text{Min.}}\; 26^{\text{Sec.}}.$$ Rechnet man nun noch für das Ein- und Ausfahren des Schiffes, dann für das Schliessen der Thore eine Zeit von 1 bis 1,5 Minuten, so folgt, dass zur Schleussung eines einzelnen Schiffes, es sey bei der Berg- oder Thalfahrt, wenigstens 7 Minuten erfordert werden, oder dass in einer Stunde 8 bis 9 Schiffe durch eine Schleusse gelangen können. Wenn jedoch nach jedem Schiff, welches hinauf geht, sogleich ein anderes hinabgebracht wird, so wird die Zeit einer Füllung der Kammer erspart und man kann in 9 Minuten beide Schiffe befördern, demnach in 1 Stunde beiläufig 7 Schiffe hinauf und 7 Schiffe hinab führen.

IV. Kapitel.

Bewegung des Wassers in Röhren mit Rücksicht auf den Widerstand der Wände.

§. 128.

Wir haben im vorigen Kapitel sowohl auf analytischem Wege als durch eine grosse Anzahl Erfahrungen bewiesen, dass das Wasser aus Gefässen mit derselben Geschwindigkeit ausfliesst, welche allen Körpern im freien Falle von der Oberfläche des Wasserstandes bis zum ausfliessenden Wasserstrahle von der Schwere beigebracht wird, und dass hierbei weder die Länge des Weges, welchen die Wassertheile längst den Wänden der Gefässe oder zwischen den andern Wassertheilen zurücklegen, noch die Richtung des ausfliessenden Wasserstrahles zu berücksichtigen ist. Wenn wir demnach die Höhe des Wasserstandes über der Mitte der Oeffnung $= h$ und die Fallhöhe der schweren Körper in der ersten Sekunde $= g$ setzen, so ist die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers $c = 2\sqrt{g.h}$ und dieselbe erleidet selbst durch die Zusammenziehung, welche man an dem Wasserstrahl auf einer kurzen Entfernung von der Oeffnung beobachtet, keine Aenderung, wie ebenfalls im vorigen Kapitel gezeigt wurde.

Da dieser Satz als eine allgemeine Folge der Schwerkraft und des Druckes, welchen die ausfliessenden Wassertheile von dem im Gefässe darüber stehenden ruhigen Wasser erfahren, anzusehen ist, und da die unveränderte Mittheilung dieser vereinten Kraft nur bei dem sehr geringen Zusammenhange der Theile und der vollkommenen Flüssigkeit des Wassers Statt findet, so glaubte man, dass das Wasser bei seiner Bewegung in Röhren auch am Ende derselben mit gleicher Geschwindigkeit $c = 2\sqrt{g.h}$ ausfliessen und dass demnach auch eine horizontale Röhrenleitung von grösserer oder kleinerer Länge einerlei Wassermenge geben müsse. Man war der Meinung, dass, wenn auch einige Wassertheile an den Röhrenwänden so wie bei der Reibung fester Körper einen Widerstand finden, und dadurch in ihrer Bewegung aufgehalten würden, doch die innern Wassertheile, welche nicht mehr an den Wänden, sondern an andern vollkommen flüssigen Wassertheilen fortfliessen, von ihrer durch den Druck des Wasserstandes im Behälter erlangten Geschwindigkeit $c = 2\sqrt{g.h}$ nichts verlieren könnten.

Diesen Gründen stand jedoch die Erfahrung entgegen, und man befand sich in sehr grosser Verlegenheit, als man bei längern Wasserleitungen und vorzüglich bei jenen von *Marly* nach *Versailles* gesehen hatte, dass bei weitem nicht dieselbe Wassermenge

am Ende der Röhren abfloss, welche aus denselben Röhren bei einer kürzeren Länge oder in der Nähe des Wasserbehälters ausgeflossen ist. Diese Beobachtung stimmte mit einer zweiten eben so wichtigen überein, gemäss welcher die springenden Wasserstrahlen bei weitem nicht auf die Höhe des Wasserspiegels im Behälter, woraus das Wasser durch Röhren zu den Springbrunnen geleitet wurde, sich erhoben.

Uiber die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung hat uns erst am Ende des verflossenen Jahrhunderts Herr *du Buat* in seinem Werke „*Principes d'Hydraulique, vérifiés par un grand nombre d'expériences, Paris* 1786" mehr Aufklärung gegeben, und durch eine grosse Anzahl von Erfahrungen gezeigt, dass die Ursache dieses Zurückbleibens des Wassers oder der Verminderung seiner Geschwindigkeit bei sehr langen Röhrenleitungen nur dem **Widerstande der Wände** und der **Biegung der Röhren** beizumessen sey. Nicht so glücklich war *du Buat* bei der Untersuchung und Auffindung der Gesetze, nach welchen dieser Widerstand zu bemessen und bei praktischen Aufgaben über die Anlage grösserer Wasserleitungen in Rechnung zu nehmen sey. Seine empirische Formel *) ist weder mit physischen Gründen hinlänglich unterstützt, und noch weniger mit jener Einfachheit dargestellt, welche man bei solchen Gegenständen zu wünschen pflegt. Wir wollen demnach vorläufig die Grundsätze anführen, nach welchen der Widerstand der Wände bemessen werden kann und sodann zur Bestimmung der Grösse dieses Widerstandes, so wie es bei der Reibung der festen Körper der Fall war, die nothwendigen Koeffizienten durch Versuche ausmitteln.

§. 129.

Wenn eine horizontale Wasserröhre von gleichem Durchmesser in ihrer ganzen Länge mit Wasser angefüllt ist und dieses Wasser aus einem Behälter erhält, so dass dasselbe mit einer gleichen Druckhöhe durch die Röhre fortgeleitet wird, so muss auch die Geschwindigkeit des Wassers sowohl am obern als untern Ende der Röhre und überhaupt in jedem Querschnitte dieselbe seyn. Da nämlich am untern Ende weder mehr noch weniger Wasser abfliessen kann, als in das obere Ende der Röhrenleitung einfliesst, durchaus aber ein gleicher Querschnitt vorhanden ist, so muss auch der Wasserabfluss für die Sekunde und die Geschwindigkeit an jedem Orte gleich seyn. In dieser Hinsicht können wir das ganze Wasser in der Röhre als einen Körper betrachten, bei dem auf gleiche Art wie bei festen Körpern alle Theile sich mit gleicher Geschwindigkeit bewegen.

Der Widerstand des Wassers an den Röhrenwänden wird theils der **Adhäsion der Theile an die ganze Wand der Röhre**, theils auch dem **Stosse** beige-

*) Herr *du Buat* nennt v die mittlere Geschwindigkeit in pariser Zollen, welche das Wasser bei seiner gleichförmigen Bewegung durch Röhren besitzt, r den mittleren Halbmesser, welcher erhalten wird, wenn die Querschnittsfläche der Röhren (in Quad. Zollen) durch den vom Wasser berührten Theil der Peripherie (in Zollen) dividirt wird; b ist der Nenner des Bruches, wodurch das Verhältniss der Länge der Röhren zu ihrem Gefälle ausgedrückt wird; wenn nämlich das Gefäll 1 Zoll auf 1000 Zoll beträgt, so ist b = 1000. Hiernach ist $v = \frac{297\,(\sqrt{r} - 0{,}1)}{\sqrt{b} - \text{nat. log}\,\sqrt{b + 1{,}6}} - 0{,}3\,(\sqrt{r} - 0{,}1)$.

messen, welchen die Wassertheile an die hervorstehenden festen Theile der Röhrenwand ausüben. Wir wollen jeden dieser Widerstände für sich besonders betrachten.

I. Da das Wasser sich an die Röhrenwand wie an jeden andern festen Körper anhängt, so muss es bei seiner Bewegung von derselben losgerissen werden. Die Summe der Theile, an welche sich das Wasser anhängen kann, ist offenbar der innern Fläche der Röhrenwand gleich, folglich die hierzu erforderliche Kraft der Fläche der Röhrenwand oder dem Produkte aus der Peripherie p der Röhre im Lichten, in die Länge l proporzional. Diese Annahme unterliegt keinem Anstande, da auf eine doppelt, dreimal..... so grosse Fläche auch doppelt, dreimal..... so viele Theile sich anhängen, das Wasser demnach in eben diesem Verhältnisse in seiner Bewegung aufgehalten wird, oder einen solchen Widerstand erfährt. Wollte man nach der Erklärung einiger Schriftsteller annehmen, dass die innere Fläche der Röhren mit einer unveränderlichen dünnen Wasserschichte, die fortwährend an der Oberfläche der Röhren anklebt, benetzt werde, so muss das durchfliessende Wasser von diesen an der Röhre anklebenden Wassertheilchen abgerissen werden. Die Adhäsion des Wassers mag nun auf die eine oder die andere Art geschehen, so ist offenbar, dass der hieraus entstehende Widerstand in jedem Falle dem Produkte p.l proporzional sey.

II. Der zweite Theil des Widerstandes entsteht aus dem Stosse oder dem Drucke der Wassertheile an die vorstehenden Theile der Röhrenwand. Eine Röhre mag noch so glatt seyn, so hat sie doch gewisse Erhöhungen und Vertiefungen, an welche die Wassertheile bei ihrer Bewegung eben so anstossen, wie es bei der Reibung der festen Körper der Fall ist, mit dem blossen Unterschiede, dass dort die hervorragenden Theile abgebrochen werden, was hier nicht Statt findet. Durch den Stoss der Wassertheile an die Röhrenwände entsteht ein Widerstand, zu dessen Gewältigung abermals eine Kraft erfordert wird. Da diese Kraft von der Grösse der Röhrenwände abhängt, so ist sie dem Produkte p.l proporzional.

Wenn das Wasser sich durch die Röhre bewegt, so wird das Abreissen aller Theilchen in jeder Zeitsekunde um so öfter wiederholt, je grösser die Geschwindigkeit des in der Röhre fliessenden Wassers ist. Nennen wir diese Geschwindigkeit = v, so ist der erste Theil des Widerstandes, dem Produkte 56,4 p.l.v proporzional. Da jeder Druck oder Widerstand durch das Gewicht eines Wasserkörpers ausgedrückt werden kann, so können wir einen Koeffizienten B annehmen, welcher mit 56,4 p.l.v multiplizirt den kubischen Inhalt des Wasserkörpers gibt, dessen Gewicht der Kraft 56,4 P gleich ist, welche zur Uiberwältigung dieses von der Adhäsion herrührenden Widerstandes erfordert wird.

Bei dem Stosse der Wassertheile ist zu bemerken, dass die Zahl der Stösse in jeder Sekunde erstens mit der Geschwindigkeit zunimmt, ferner dass auch die Grösse jedes Stosses selbst noch derselben Geschwindigkeit proporzional ist. Die ganze Wirkung des Stosses wächst daher wie das Quadrat der Geschwindigkeit und es ist die zu seiner Uiberwältigung erforderliche Kraft 56,4 Q dem Produkte $56{,}4\,p.l.v^2$ proporzional, oder wenn wir die Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g} = u$ setzen, so können wir die Kraft, welche zur Gewältigung

der Stösse des Wassers nöthig ist, dem Produkte $56{,}4\ p.l.u = 56{,}4\ p.l\cdot\frac{v^2}{4g}$ proporzional setzen. Da $56{,}4\ p.l.u$ das Gewicht eines Wasserkörpers ist, so darf dasselbe nur noch mit einem Koeffizienten A multiplizirt werden, um die wirkliche Kraft $56{,}4\ Q$ zur Gewältigung des Widerstandes vom Stosse zu erhalten.

Hieraus ergibt sich der gesammte Widerstand des Wassers an den Wänden der Röhre, $56{,}4\ P + 56{,}4\ Q = 56{,}4\ p.l\left(\frac{A.v^2}{4g} + B.v\right)$. Der Widerstand, welchen die ganze Wassermenge, die durch die Röhre durchgeht, erleidet, ist daher **einer Wassersäule gleich, deren Grundfläche die innere Oberfläche** (p.l) **der Röhre und deren Höhe die Grösse** $\frac{A.v^2}{4g} + B.v$ ist.

Dieser Widerstand muss nun durch das Gewicht einer Wassersäule gewältigt werden, welche auf den Anfang der Röhre drückt, und das Wasser mit der Geschwindigkeit v fortzuschieben im Stande ist. Setzen wir die Höhe des Wasserstandes im Behälter über der Mitte der Oeffnung = h und die Fläche der Oeffnung = f, so ist der Druck an die Oeffnung der Röhre nach hydrostatischen Grundsätzen dem Gewichte der Wassersäule f.h gleich. Weil aber das Wasser bei dem Anfange der Röhre mit der Geschwindigkeit v einfliessen muss, so ist hierzu nach §. 103 die Höhe $\frac{v^2}{4g}$ oder die Wassersäule $f\cdot\frac{v^2}{4g}$ nöthig, es bleibt demnach zur Gewältigung der Widerstände bloss die Wassersäule $f.h - f\cdot\frac{v^2}{4g}$ übrig, und wir erhalten $P + Q = f.h - f\cdot\frac{v^2}{4g} = p.l\left(\frac{A.v^2}{4g} + B.v\right)$. Wird diese Gleichung mit f dividirt, und das Glied $\frac{v^2}{4g}$ auf die andere Seite gesetzt, so haben wir die Höhe des Wasserstandes im Gefässe $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{p.l}{f}\left(\frac{A.v^2}{4g} + B.v\right)$. **Es zerfällt demnach die ganze Druckhöhe h in zwei Theile, wovon der erste Theil die eigentliche Geschwindigkeitshöhe des Wassers** $\left(\frac{v^2}{4g}\right)$, **der zweite Theil aber diejenige Höhe ist, welche zur Uiberwältigung der Widerstände in den Röhren erfordert wird.**

§. 130.

Aus der aufgestellten Gleichung $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{p.l}{f}\left(\frac{A.v^2}{4g} + B.v\right)$ ersehen wir:

1tens. Dass die Höhe des Wasserstandes im Gefässe um so grösser seyn müsse, je grösser die Geschwindigkeit v und die Produkte $\frac{A.v^2}{4g}$ und $B.v$ sind.

2tens. Dass der Widerstand des Wassers in Röhrenleitungen hauptsächlich von der Länge der Röhrenleitung l bestimmt wird.

Bei kurzen Ansatzröhren ist l unbedeutend, demnach kann der Widerstand der Röhrenwände vernachlässigt werden, und die Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}$ ist der Höhe des Wasserstandes h gleich, demnach $v = 2\sqrt{g.h}$, wie wir es §. 102 erwiesen haben. Allein

selbst in dem Falle, wenn A und B unbedeutende Grössen sind, kann dennoch der Widerstand eine sehr grosse Höhe des Wasserstandes im Behälter erfordern, wenn die Länge l der Röhrenleitung sehr gross ist.

3tens. Setzen wir den Durchmesser der Röhre im Lichten $= d$, so ist die Peripherie der Oeffnung $p = \pi . d$ und ihre Fläche $f = \frac{\pi . d^2}{4}$, demnach $\frac{p}{f} = \frac{4}{d}$. Hierdurch erhalten wir die Höhe des Wasserstandes im Behälter $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{d}\left(\frac{A . v^2}{4g} + B . v\right)$. Hieraus ergibt sich, dass der Widerstand des Wassers an den Röhrenwänden vorzüglich von dem Verhältnisse $\frac{4l}{d}$ abhängt, oder im geraden Verhältnisse der Länge und im umgekehrten der Halbmesser der Röhren stehe. Der Widerstand kann demnach auch bei kurzen Röhren sehr gross werden, wenn der Halbmesser der Röhren sehr klein ist, folglich nach der Division $\frac{4l}{d}$ doch eine grosse Zahl erhalten wird. Hieraus sehen wir auch, dass zur Bestimmung des Widerstandes der Röhrenwände Versuche mit Röhren von kleinern Durchmessern angemessener sind, als jene mit grössern Durchmessern, weil bei den letztern, im Falle d gross ist, dasselbe Verhältniss $\frac{4l}{d}$ erst durch eine bedeutende Länge l erreicht werden kann.

Es verdient hier noch bemerkt zu werden, dass schon *Newton* in seinen *princ. phil. nat. Lib. II. prop. XXI.* den Satz aufstellte, dass der Widerstand des Wassers theils dem Quadrate und theils der einfachen Geschwindigkeit proporzional sey. Er leitete diesen Satz aus seinen Versuchen über den Widerstand der Pendel im Wasser her.

§. 131.

Zur Bestimmung der vorstehenden Koeffizienten A und B werden Versuche benöthigt, welche mit möglichster Genauigkeit angestellt seyn müssen, weil der Widerstand des sehr beweglichen Wassers an und für sich nicht bedeutend seyn kann. Die weitläufigsten Versuche dieser Art sind von dem Herrn Abbé *Bossut*, Generalinspektor über die Maschinen und hydraulischen Werke der königlichen Gebäude, dann von Herrn *du Buat*, Obristlieutenant bei dem k. franz. Ingenieurkorps angestellt, und in ihren hydraulischen Schriften bekannt gemacht worden. Nebst diesen Versuchen führen wir noch einige im Grossen gemachte von *Couplet* in Frankreich, und einige eigene Erfahrungen an. Bei allen diesen Versuchen, welche wir der Berechnung der Werthe von A und B zum Grunde legen, waren die Leitungsröhren des Wassers horizontal.

Herr Abbé *Bossut* bediente sich zu seinen Versuchen einer Vorrichtung, welche Fig. 5 im Längendurchschnitt und Fig. 6 im Grundrisse dargestellt ist. Er liess auf einer Anhöhe zunächst der Stadt *Mézières* zwei Behälter ABCD und EFGH in der Erde ausgraben; der erste hiervon enthielt 25 bis 30 Kubik-*Toisen* und war zum beständigen Ersatze des Abflusses bestimmt; der zweite Behälter EFGH, worin das Wasser beständig auf gleicher Höhe über der Achse der Röhre erhalten wurde, hielt beiläufig 6 Kubik-*Toisen* Wasser, wenn er bis zur grössten Höhe, die 4,5 par. Fuss betrug, angefüllt war. Eine Fig. 5 und 6. Tab. 47.

Fig. 5 und 6. Tab. 47. horizontale Röhre G J von weissem Blech, und beiläufig 8 bis 9 Zoll im Durchmesser stellte die Verbindung des Behältnisses E F G H mit dem würfelförmigen Gefässe K her; diess letztere war ebenfalls von weissem Blech verfertigt, hatte 1 Fuss auf jeder Seite zur Länge, und war auf allen Seiten verschlossen. Auf einer lothrechten Wand dieses Gefässes wurden senkrecht an M und N zwei geradlinigte Röhren von weissem Blech angebracht, deren Länge fortwährend vergrössert wurde und von 30 bis 180 Fuss reichten. Da das Gefäss K von allen Seiten verschlossen war, so folgt, dass die Höhe des Wassers über der Achse einer jeden Röhre bei den Versuchen dem vertikalen Abstande von dieser Achse der Röhre bis zum Wasserspiegel im Behältnisse E F G H gleichkam. Bei den Versuchen wurde von den zwei Röhren M und N immer eine verstopft, die andere von 30 bis 180 Fuss verlängert, und die Ausflussmenge in einem jeden Falle gemessen. Die Division derselben durch die abgelaufene Zeit und die Querschnittsfläche der Röhre im Lichten gab offenbar die Geschwindigkeit des Wassers. Damit endlich keine Unreinigkeiten bei der Bewegung des Wassers mit fortgeführt wurden, war bei G zu Anfange der Verbindungsröhre G J ein Seiher angebracht; dann wurden auch an den Röhren M und N kleine Löcher in die Wände gebohrt, um der gefangenen Luft den Ausgang zu erleichtern, diese Löcher aber später wieder mit ein wenig Wachs verstopft.

§. 132.

Bei den andern oben genannten Versuchen wurde ebenfalls darauf gesehen, dass die Höhe des Wasserstandes in dem grossen Behälter, woraus das Wasser in die Röhre geflossen ist, während der ganzen Dauer des Versuches u n v e r ä n d e r t blieb. Zur Erklärung, wie diese Versuche in Rechnung zu nehmen seyen, heben wir jenen Versuch von *Couplet* aus, welchen derselbe mit Röhren von 84240 par. Zoll = 7020 par. Fuss Länge und 5 Zoll im Durchmesser anstellte. Hierbei fand er nachstehende Werthe für die Druckhöhe über der Mitte der Röhre und die beobachtete Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre:

1. Versuch.	Druckhöhe	d. Wassers	= 25	Zoll u.	Geschwindigk.	desselb.	in d. Röhre	= 5,323 Z.
2.	„	„	= 24	„	„	„	„	= 5,213 „
3.	„	„	= 21,083	„	„	„	„	= 4,806 „
4.	„	„	= 16,750	„	„	„	„	= 4,127 „
5.	„	„	= 11,333	„	„	„	„	= 3,154 „
6.	„	„	= 5,583	„	„	„	„	= 2,0107 „

Diese Werthe werden nun in die §. 129 gefundene allgemeine Gleichung

$h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot A + \frac{41}{d} \cdot v . B$ substituirt und, da hier alles in pariser Zollen gemessen ist, $4g = 4 . 15{,}098 . 12 = 724{,}7$ par. Zoll angenommen, Demnach erhalten wir zur Bestimmung der Koeffizienten A und B folgende 6 Gleichungen:

$$25{,}000 = 0{,}0391 + 2635{,}0272\ A + 358727{,}616\ B$$
$$24{,}000 = 0{,}0375 + 2527{,}2000\ A + 351314{,}496\ B$$
$$21{,}033 = 0{,}0319 + 2149{,}8048\ A + 323885{,}952\ B$$
$$16{,}750 = 0{,}0236 + 1583{,}7120\ A + 278126{,}784\ B$$
$$11{,}333 = 0{,}0137 + 923{,}2704\ A + 212554{,}368\ B$$
$$5{,}583 = 0{,}0056 + 377{,}3952\ A + 135505{,}094\ B$$

Werden die ersten 3 und dann die zweiten 3 Gleichungen addirt, so erhalten wir

$$70{,}083 = 0{,}1085 + 7312{,}0320\ A + 1033928{,}064\ B\ \text{(I)}$$
$$33{,}666 = 0{,}0428 + 2884{,}3776\ A + 626186{,}246\ B\ \text{(II)}$$

Die weitere Redukzion dieser zwei Gleichungen gibt

$$0{,}0000677 = 0{,}0070721\ A + B$$
$$0{,}0000537 = 0{,}0046063\ A + B$$

Wird die untere Gleichung von der obern abgezogen, so folgt

$$0{,}0000140 = 0{,}0024658\ A \text{ und } A = \frac{1}{176}.$$

Durch Addizion der Gleichungen I und II erhalten wir ferner

$$103{,}749 = 0{,}1513 + 10196{,}4096\ A + 1660114{,}310\ B$$

und wird der gefundene Werth von A substituirt, so ist $B = \frac{45{,}6636}{1660114{,}310} = \frac{1}{36355}$.

Hieraus ergibt sich die vollständige Gleichung für die Bewegung des Wassers in 5 zölligen Röhren $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{v^2}{4g}\cdot\frac{1}{176} + \frac{v}{36355}\right)$.

Um sich von der Richtigkeit dieser Gleichung zu überzeugen, brauchen wir bloss für eine jede, bei den obigen Versuchen beobachtete Geschwindigkeit die zugehörige Druckhöhe h abzuleiten, und wir erhalten folgende Tabelle:

I. Versuche von *Couplet* mit Röhren von 5 par. Zoll im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{176} + \frac{4l}{d} \cdot \frac{v}{36355} = h'$.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.					
1	5	84240	25,000	5,323	0,0391 + 14,9717 + 9,8674 = 24,8782	+ 0,1218
2	„	„	24,000	5,213	0,0375 + 14,3591 + 9,6634 = 24,0600	— 0,0600
3	„	„	21,083	4,806	0,0319 + 12,2148 + 8,9090 = 21,1557	— 0,0727
4	„	„	16,750	4,127	0,0235 + 8,9984 + 7,6503 = 16,6722	+ 0,0778
5	„	„	11,333	3,154	0,0137 + 5,2459 + 5,8466 = 11,1062	+ 0,2268
6	„	„	5,583	2,0107	0,0056 + 2,1443 + 3,7273 = 5,8772	— 0,2942

Die letzte Kolumne dieser Tabelle zeigt, dass die Differenzen der berechneten Druckhöhe von der beobachteten sich beinahe aufheben, und dass demnach die aufgestellte Gleichung mit den gefundenen Werthen im Versuche genau übereinstimmt. Dasselbe ergibt sich aus allen nachfolgenden Versuchen, wo die aufgestellte Gleichung auf dieselbe Art abgeleitet wird.

II. Versuche von *Bossut* mit Röhren von Weissblech von 2,01 par. Zoll im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{193} + \frac{4l}{d} \cdot \frac{v}{24249} = h'$.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.					
1	2,01	360	24,000	58,903	4,7876 + 17,7716 + 1,7402 = 24,2994	— 0,2994
2	„	360	12,000	40,322	2,2434 + 8,3275 + 1,1913 = 11,7622	+ 0,2378
3	„	720	24,000	43,000	2,5514 + 18,9416 + 2,5408 = 24,0338	— 0,0338
4	„	720	12,000	29,215	1,1778 + 8,7440 + 1,7263 = 11,6481	+ 0,3519
5	„	1080	24,000	35,765	1,7651 + 19,6562 + 3,1699 = 24,5912	— 0,5912
6	„	1080	12,000	23,806	0,7820 + 8,7084 + 2,1100 = 11,6004	+ 0,3996
7	„	1440	24,000	30,896	1,3172 + 19,5578 + 3,6512 = 24,5262	— 0,5262
8	„	1440	12,000	20,707	0,5917 + 8,7856 + 2,4415 = 11,8188	+ 0,1812
9	„	1800	24,000	27,470	1,0413 + 19,3266 + 4,0579 = 24,4258	— 0,4258
10	„	1800	12,000	18,304	0,4623 + 8,5803 + 2,7039 = 11,7465	+ 0,2535
11	„	2160	24,000	24,731	0,8440 + 18,7976 + 4,3840 = 24,0256	— 0,0256
12	„	2160	12,000	16,377	0,3701 + 8,2429 + 2,9031 = 11,5161	+ 0,4839

III. Versuche von *Bossut* mit Röhren von Weissblech von 16 Linien im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{d}\cdot\frac{v^2}{4g}\cdot\frac{1}{197} + \frac{4l}{d}\cdot\frac{v}{17517} = h'$.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.					
1	4/3	360	24,000	48,534	3,2504 + 17,8195 + 2,9923 = 24,0622	— 0,0622
2	„	360	12,000	33,160	1,5173 + 8,3182 + 2,0445 = 11.8800	+ 0,1200
3	„	720	24,000	34,473	1,6398 + 17,9795 + 4,2508 = 23,8701	+ 0,1299
4	„	720	12,000	23,360	0,7530 + 8,2562 + 2,8805 = 11,8897	+ 0,1103
5	„	1080	24,000	28,075	1,0876 + 17,8874 + 5,1928 = 24,1678	— 0,1678
6	„	1080	12,000	18,943	0,4952 + 8,1444 + 3,5038 = 12,1434	— 0,1434
7	„	1440	24,000	24,004	0,7951 + 17,4357 + 5,9198 = 24,1506	— 0,1506
8	„	1440	12,000	16,128	0,3589 + 7,8703 + 3,9774 = 12,2066	— 0,2066
9	„	1800	24,000	21,032	0,6104 + 16,7318 + 6,4836 = 23,8258	+ 0,1742
10	„	1800	12,000	14,066	0,2730 + 7,4832 + 4,3362 = 12,0924	— 0,0924
11	„	2160	24,000	18,896	0,4927 + 16,2066 + 6,9901 = 23,6894	+ 0,3106
12	„	2160	12,000	12,562	0,2178 + 7,1642 + 4,6470 = 12,0290	— 0,0290

IV. Versuche von *du Buat* mit Röhren von Weissblech von 1 Zoll im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{d}\cdot\frac{v^2}{4g}\cdot\frac{1}{183} + \frac{4l}{d}\cdot\frac{v}{20463} = h'$.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.					
1	1	117	36,000	84,945	9,9567 + 25,4630 + 1,9427 = 37,3624	— 1,3624
2	„	„	26,666	71,301	7,0151 + 17,9403 + 1,6307 = 26,5861	+ 0,0799
3	„	„	18,000	58,310	4,6917 + 11,9934 + 1,3336 = 18,0237	— 0,0237
4	„	138,5	20,950	58,808	4,7722 + 14,4470 + 1,5921 = 20,8113	+ 0,1387
5	„	„	6,000	29,341	1,1879 + 3,5962 + 0,7944 = 5,5785	+ 0,4215
6	„	„	0,700	8,689	0,1042 + 0,3154 + 0,2352 = 0,6548	+ 0,0452
7	„	737	23,700	28,669	1,1341 + 18,2695 + 4,1302 = 23,5338	+ 0,1662
8	„	„	14,600	21,856	0,6591 + 10,6176 + 3,1487 = 14,4254	+ 0,1746
9	„	„	13,700	20,970	0,6068 + 9,7751 + 3,0210 = 13,4029	+ 0,2971
10	„	„	12,320	19,991	0,5515 + 8,8343 + 2,8800 = 12,3158	+ 0,0042
11	„	„	8,960	16,625	0,3814 + 6,1441 + 2,3951 = 8,9206	+ 0,0394
12	„	„	8,960	16,284	0,3659 + 5,8944 + 2,3460 = 8,6063	+ 0,3537
13	„	„	7,780	15,112	0,3151 + 5,0760 + 2,1771 = 7,5682	+ 0,2118
14	„	„	5,930	13,315	0,2446 + 3,9403 + 1,9182 = 6,1031	— 0,1731
15	„	„	4,200	10,671	0,1571 + 2,5308 + 1,5373 = 4,2252	— 0,0252
16	„	„	4,200	10,441	0,1504 + 2,4228 + 1,5042 = 4,0774	+ 0,1226
17	„	„	0,500	3,623	0,0181 + 0,2916 + 0,5219 = 0,8316	— 0,3316
18	„	„	0,150	1,589	0,0035 + 0,0564 + 0,2289 = 0,2388	— 0,1388

V. Versuch von *Franz Jos.* Ritter v. *Gerstner* mit einer gläsernen Röhre von 0,51 par. Zoll im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{187} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v}{8578} = h'$.	Differenz h — h.'
	pariser Zolle.					
1	0,51	63	45	89,0	10,930 + 28,881 + 5,127 = 44,938	+ 0,062
2	„	„	40	83,5	9,621 + 25,422 + 4,810 = 39,853	+ 0,147
3	„	„	35	78,0	8,395 + 22,182 + 4,493 = 35,070	— 0,070
4	„	„	30	72,0	7,153 + 18,901 + 4,147 = 30,201	— 0,201
5	„	„	25	65,0	5,830 + 15,405 + 3,744 = 24,979	+ 0,021
6	„	„	20	57,5	4,562 + 12,055 + 3,312 = 19,929	+ 0,071
7	„	„	15	49,0	3,313 + 8,754 + 2,823 = 14,890	+ 0,110
8	„	„	10	39,0	2,099 + 5,546 + 2,247 = 9,892	+ 0,108
9	„	„	5	26,0	0,933 + 2,465 + 1,498 = 4,896	+ 0,104
10	„	„	4	23,0	0,730 + 1,929 + 1,325 = 3,984	+ 0,016
11	„	„	3	20,0	0,552 + 1,459 + 1,152 = 3,163	— 0,163
12	„	„	2	16,0	0,353 + 0,933 + 0,922 = 2,208	— 0,208

VI. Versuch von *Franz Jos.* Ritter v. *Gerstner* mit einer gläsernen Röhre von 0,39 par. Zoll im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{168} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v}{7562} = h'$.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.					
1	0,39	63	45	77,0	8,181 + 31,465 + 6,579 = 46,225	— 1,225
2	„	„	40	71,0	6,956 + 26,754 + 6,067 = 39,777	+ 0,223
3	„	„	35	65,7	5,956 + 22,908 + 5,614 = 34,478	+ 0,522
4	„	„	30	60,5	5,051 + 19,427 + 5,170 = 29,648	+ 0,352
5	„	„	25	55,0	4,174 + 16,054 + 4,700 = 24,928	+ 0,072
6	„	„	20	48,5	3,246 + 12,485 + 4,144 = 19,875	+ 0,125
7	„	„	15	41,3	2,354 + 9,054 + 3,529 = 14,937	+ 0,063
8	„	„	10	32,5	1,452 + 5,585 + 2,777 = 9,814	+ 0,186
9	„	„	5	21,6	0,644 + 2,477 + 1,846 = 4,967	+ 0,033
10	„	„	4	19,0	0,498 + 1,915 + 1,624 = 4,037	— 0,037
11	„	„	3	16,0	0,353 + 1,358 + 1,367 = 3,078	— 0,078
12	„	„	2	13,0	0,233 + 0,896 + 1,111 = 2,240	— 0,240

VII. Versuche von *Franz Jos. R. v. Gerstner* mit einer gläsernen Röhre von 0,27 par. Zoll im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{167} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v}{8248} = h'$	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.					
1	0,27	63	45	64,5	5,741 + 32,085 + 7,299 = 45,125	— 0,125
2	„	„	40	60,4	5,034 + 28,134 + 6,835 = 40,003	— 0,003
3	„	„	35	56,2	4,358 + 24,356 + 6,360 = 35,074	— 0,074
4	„	„	30	51,5	3,660 + 20,455 + 5,828 = 29,943	+ 0,057
5	„	„	25	46,5	2,984 + 16,677 + 5,262 = 24,923	+ 0,077
6	„	„	20	41,0	2,320 + 12,966 + 4,640 = 19,926	+ 0,074
7	„	„	15	34,5	1,642 + 9,177 + 3,904 = 14,723	+ 0,277
8	„	„	10	26,8	0,991 + 5,539 + 3,033 = 9,563	+ 0,437
9	„	„	5	18,0	0,447 + 2,498 + 2,037 = 4,982	+ 0,018
10	„	„	4	16,0	0,353 + 1,973 + 1,811 = 4,137	— 0,137
11	„	„	3	13,7	0,259 + 1,443 + 1,550 = 3,257	— 0,257
12	„	„	2	11,0	0,167 + 0,933 + 1,245 = 2,345	— 0,345

VIII. Versuche von *du Buat* mit einer Röhre von 2,9 par. Linien im Durchmesser.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v.	Berechnete Druckhöhe des Wassers $\frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{162} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v}{10298} = h'$.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.					
1	$\frac{2{,}9}{12}$	36,25	20,166	51,956	3,7249 + 13,7959 + 3,0270 = 20,5480	— 0,3820
2		„	9,083	33,577	1,5557 + 5,7618 + 1,9563 = 9,2738	— 0,1903
3	„	„	7,361	28,658	1,1333 + 4,1973 + 1,6697 = 7,0003	+ 0,3607
4	„	„	5,000	23,401	0,7556 + 2,7986 + 1,3634 = 4,9176	+ 0,0824
5	„	„	4,916	22,989	0,7293 + 2,7010 + 1,3394 = 4,7697	+ 0,1463
6	„	„	4,833	22,679	0,7097 + 2,6286 + 1,3214 = 4,6597	+ 0,1733
7	„	„	3,708	19,587	0,5294 + 1,9607 + 1,1412 = 3,6313	+ 0,0767
8	„	„	2,713	16,631	0,3817 + 1,4136 + 0,9690 = 2,7643	— 0,0513
9	„	„	2,083	14,295	0,2820 + 1,0444 + 0,8329 = 2,1593	— 0,0763
10	„	„	1,625	12,680	0,2219 + 0,8217 + 0,7388 = 1,7824	— 0,1574
11	„	„	0,833	7,577	0,0792 + 0,2934 + 0,4415 = 0,8141	+ 0,0139

§. 133.

Bevor wir aus den vorstehenden Erfahrungen einige allgemeine Regeln zur Bemessung des Widerstandes der Röhren aufstellen, müssen wir noch wegen der Analogie dieses Gegenstandes mit der Reibung der festen Körper auf folgenden Umstand aufmerksam machen. Bereits in der Einleitung zu diesem Gegenstande wurden die Gründe angeführt, aus welchen die zur Gewältigung des Widerstandes der Röhrenwände nöthige Druckhöhe nebst dem Verhältnisse der innern Wandfläche zur Querschnittsfläche der Röhren, sowohl der ersten als zweiten Potenz der Geschwindigkeit proporzional seyn muss. Hieraus folgt aber, dass der Widerstand der Röhrenwände verschwinden müsse, wenn das Wasser sich in Ruhe befindet, oder wenn die Geschwindigkeit desselben $v = 0$ ist. Diese Folge wird auch dadurch bestättigt, dass ohne Bewegung des Wassers nicht wohl ein Hinderniss dieser Bewegung gedenkbar ist. Da wir jedoch bei dem Reibungswiderstande der festen Körper gesehen haben, dass derselbe bei grössern und kleinern Geschwindigkeiten nicht merklich verschieden ist, demnach nur eine beständige Grösse zum Masse hat, welche nach den dort aufgestellten Erklärungen nur von dem Verhältnisse der Höhe zur Länge der sich reibenden Theile abhängt, so wird es nöthig, auch bei den flüssigen Körpern zu untersuchen, ob sich nicht ebenfalls hierbei ein beständiger Widerstand vorfindet, und ob sonach in unserm allgemeinen Ausdrucke für den Widerstand nicht etwa der ersten und zweiten Potenz der Geschwindigkeit auch noch eine beständige Grösse beizusetzen sey.

Zu dieser Absicht wollen wir annehmen, dass die zur Gewältigung des Widerstandes der Röhrenwände nöthige Druckhöhe $h - \frac{v^2}{4g} = \frac{p.l}{f}\left(A.\frac{v^2}{4g} + B.v + C\right)$ oder bei kreisförmigen Röhren $= \frac{4l}{d}\left(A.\frac{v^2}{4g} + B.v + C\right)$ sey, wo durch Anwendung dieser Gleichung aus den hierüber angeführten Versuchen die Grössen A, B und C zu bestimmen sind.

Da hier drei unbekannte Grössen abgeleitet werden müssen, so ergibt sich von selbst, dass hierzu auch wenigstens 3 Beobachtungen erfordert werden. Weil es aber auch sehr schwierig ist, die Bemessung der Druckhöhe und der Gleichförmigkeit des Durchmessers der Röhren mit der Genauigkeit von $^1/_{100}$ und $^1/_{1000}$ Zoll zu bewerkstelligen, so haben wir unter den vielen Versuchen, welche über diesen Gegenstand angestellt worden sind, nur jene gewählt, bei welchen für dieselbe Länge und denselben Durchmesser der Röhren mehr als 3, sonach 6, 12 und mehr Beobachtungen angeführt sind, um durch das Zusammennehmen mehrerer Beobachtungen in eine Gleichung diesem Umstande möglichst zu begegnen und auf solche Art übereinstimmende Mittelzahlen zur Bemessung des Widerstandes der Röhren zu finden. Wir wollen demnach zur Bestimmung der Grösse C den ersten und fünften von den angeführten Versuchen wählen, da der erste mit einem Durchmesser von 5 Zoll und der fünfte mit einem Durchmesser von $^1/_2$ Zoll angestellt ist, zwischen welchen Werthen die Dimensionen unserer Röhrenleitungen gewöhnlich liegen.

Für den ersten Versuch ist die Länge der Röhren $l = 84240$ par. Zoll und ihr Durchmesser $d = 5$ par. Zoll. Mit diesen Werthen ergeben sich nach Massgabe der beobachteten verschiedenen Druckhöhen und Geschwindigkeiten folgende 6 Gleichungen:

$$0{,}0391 + 2635{,}0272\ A + 358727{,}616\ B + 67392\ C = 25{,}000$$
$$0{,}0375 + 2527{,}2000\ A + 351314{,}496\ B + 67392\ C = 24{,}000$$
$$0{,}0319 + 2149{,}8048\ A + 323885{,}952\ B + 67392\ C = 21{,}083$$
$$0{,}0235 + 1583{,}7120\ A + 278126{,}734\ B + 67392\ C = 16{,}750$$
$$0{,}0137 + 923{,}2704\ A + 212554{,}368\ B + 67392\ C = 11{,}333$$
$$0{,}0056 + 377{,}3952\ A + 135505{,}094\ B + 67392\ C = 5{,}583.$$

Wird die erste Gleichung zur zweiten, eben so die dritte zur vierten und dann die fünfte zur sechsten addirt, so erhalten wir folgende 3 Gleichungen:

$$0{,}0766 + 5162{,}2272\ A + 710042{,}112\ B + 67392 \cdot 2\ C = 49{,}000$$
$$0{,}0554 + 3733{,}5168\ A + 602012{,}736\ B + 67392 \cdot 2\ C = 37{,}333$$
$$0{,}0193 + 1300{,}6656\ A + 348059{,}462\ B + 67392 \cdot 2\ C = 16{,}916.$$

Wird nun die 2te Gleichung von der 1ten und die 3te von der 2ten abgezogen, so ergibt sich:

$$0{,}0212 + 1428{,}7104\ A + 108029{,}376\ B = 11{,}1670$$
$$0{,}0361 + 2432{,}8512\ A + 253953{,}274\ B = 20{,}9170.$$

Nach der Redukzion dieser beiden Gleichungen folgt $A = \frac{1}{174}$ und $B = \frac{1}{36810}$. Werden diese Werthe für A und B in die Summe der obigen Gleichungen $0{,}1513 + 10196{,}4096\ A + 1660114{,}310\ B + 67392 \cdot 6\ C = 103{,}7490$ substituirt, so ergibt sich $C = -\frac{1}{3970000}$, welches offenbar bei solchen Versuchen eine gänzlich unmessbare Grösse ist, demnach um so mehr vernachlässigt werden kann, als das gefundene negative Zeichen auf eine Beschleunigung schliessen lassen würde, wogegen der Widerstand in unserer Rechnung als eine positive Grösse betrachtet werden muss.

In dem fünften Versuche war $l = 63$ par. Zoll und $d = 0{,}51$ par. Zoll, demnach $\frac{4l}{d} = \frac{8400}{17}$. Diese Werthe und jene bei der Beobachtung gefundenen geben nach Seite 184 folgende 12 Gleichungen:

$$10{,}930 + 5400{,}706\ A + 43976{,}471\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 45$$
$$9{,}621 + 4753{,}906\ A + 41258{,}824\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 40$$
$$8{,}395 + 4148{,}118\ A + 38541{,}176\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 35$$
$$7{,}153 + 3534{,}424\ A + 35576{,}471\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 30$$
$$5{,}830 + 2880{,}706\ A + 32117{,}647\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 25$$
$$4{,}562 + 2254{,}165\ A + 28411{,}765\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 20$$
$$3{,}313 + 1637{,}012\ A + 24211{,}765\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 15$$
$$2{,}099 + 1037{,}153\ A + 19270{,}588\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 10$$
$$0{,}933 + 461{,}012\ A + 12847{,}059\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 5$$
$$0{,}730 + 360{,}706\ A + 11364{,}706\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 4$$
$$0{,}652 + 272{,}753\ A + 9882{,}353\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 3$$
$$0{,}353 + 174{,}424\ A + 7905{,}882\ B + 8400 \cdot {}^1/_{17}\ C = 2$$

Werden je vier Gleichungen zusammenaddirt, so ergeben sich folgende drei Gleichungen:

$$36{,}099 + 17837{,}154\,A + 159352{,}942\,B + 8400 \cdot \frac{4}{17}\,C = 150$$

$$15{,}804 + 7809{,}036\,A + 104011{,}765\,B + 8400 \cdot \frac{4}{17}\,C = 70$$

$$2{,}568 + 1268{,}895\,A + 42000{,}000\,B + 8400 \cdot \frac{4}{17}\,C = 14$$

Wird nun die 2te Gleichung von der 1ten und die 3te von der 2ten abgezogen, so ergibt sich:

$$20{,}295 + 10028{,}118\,A + 55341{,}177\,B = 80$$
$$13{,}236 + 6540{,}141\,A + 62011{,}765\,B = 56$$

Die Redukzion dieser Gleichungen gibt $A = \frac{1}{194{,}53}$ und $B = \frac{1}{6776}$.

Werden diese Werthe für A und B in die Summe der obigen 3 Gleichungen $54{,}471 + 26915{,}035\,A + 305364{,}707\,B + 8400 \cdot \frac{12}{17}\,C = 234$ substituirt, so ergibt sich $C = -\frac{1}{1500}$. Das negative Zeichen der beständigen Grösse C zeigt abermals, dass dieselbe nur eine Folge der Zifferrechnung seyn könne und von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern herrühre; diese Grösse ist aber auch an und für sich so klein, dass hierdurch die Druckhöhe h nur unmerklich verändert werden kann.

Wir haben aus dieser Ursache bei der obigen Beobachtung der angeführten Versuche I bis VIII die beständige Grösse C weggelassen und nur die Faktoren A und B so ausgemittelt, dass hieraus die bei den Beobachtungen Statt gefundenen Druckhöhen bis auf unmerkliche Differenzen hervorgehen. Da überhaupt die Druckhöhen und die Geschwindigkeiten nur zu der Absicht in Zollen angegeben wurden, um dadurch den Bewegungswiderstand um so bemerklicher zu machen, und da die in den letzten Kolumnen der Versuchsreihen I bis VIII ersichtlichen Differenzen gewöhnlich viel kleiner als 1 Zoll, dann theils positiv und theils negativ sind, und sich in ihrer Summe beinahe immer aufheben, so dürfte man sich mit den angeführten Werthen von A und B sehr wohl befriedigen können.

§. 134.

Die vorstehenden Bemerkungen betreffen eine jede Versuchsreihe an und für sich; es handelt sich nun noch, die Resultate dieser Versuche unter einander zu vergleichen und hieraus wo möglich allgemeine Gesetze abzuleiten.

Von den angeführten Versuchen sind jene von *Couplet* mit Röhren von Gusseisen, jene von *Bossut* mit Röhren von Weissblech und die letztern Versuche mit den kleinen Durchmessern mit Glasröhren angestellt worden. Bei der Reibung fester Körper haben wir bereits den grossen Einfluss der Verschiedenheit der letztern kennen gelernt und gesehen, dass alle Körper von was immer von einer Materie die möglichste Politur erhalten müssen, damit ein beständiges Gesetz bei der Reibung eintrete. Von einer solchen Politur kann bei den Wasserleitungsröhren keine Rede seyn. Wir wer-

den sonach aus den abgeleiteten Werthen der Koeffizienten A und B nur Mittelzahlen angeben, um dadurch der Ausübung möglichst zu entsprechen. Zur Uibersicht dieses Gegenstandes haben wir die Werthe von A und B nach Verhältniss der Durchmesser in nachstehender Tabelle geordnet und in der letzten Kolumne aus den sogleich unten angeführten Gründen die Werthe von $B \cdot \sqrt{d}$ für d in pariser Zollen beigefügt.

Nro.	Beobachter.	Durchmesser der Röhren in par. Zollen.	Werth von A.	Werth von B.	Werth von $B \cdot \sqrt{d''}$.
1	*Couplet*	5	$\frac{1}{176} = 0{,}005682$	$\frac{1}{36355}$	$\frac{2{,}236}{36355} = \frac{1}{16259}$
2	*Bossut*	2,01	$\frac{1}{193} = 0{,}005181$	$\frac{1}{24249}$	$\frac{1{,}418}{24249} = \frac{1}{17101}$
3	„	$\frac{4}{3}$	$\frac{1}{197} = 0{,}005076$	$\frac{1}{17517}$	$\frac{1{,}155}{17517} = \frac{1}{15166}$
4	*du Buat*	1	$\frac{1}{183} = 0{,}005464$	$\frac{1}{20463}$	$\frac{1}{20463} = \frac{1}{20463}$
5	*F. Jos. v. Gerstner*	0,51	$\frac{1}{187} = 0{,}005348$	$\frac{1}{8578}$	$\frac{0{,}714}{8578} = \frac{1}{12014}$
6	„	0,39	$\frac{1}{168} = 0{,}015952$	$\frac{1}{7562}$	$\frac{0{,}624}{7562} = \frac{1}{12119}$
7	„	0,27	$\frac{1}{167} = 0{,}005988$	$\frac{1}{8248}$	$\frac{0{,}520}{8248} = \frac{1}{15862}$
8	*du Buat*	$\frac{2{,}9}{12} = 0{,}242$	$\frac{1}{162} = 0{,}006173$	$\frac{1}{10298}$	$\frac{0{,}492}{10298} = \frac{1}{20931}$
		Mittelzahl	$\frac{1}{178{,}3} = 0{,}005608$		Mittelzahl $= \frac{1}{15645}$

Aus dieser Tabelle ersehen wir: **1tens** die Werthe von A unterscheiden sich so wenig von einander, dass man hierfür entweder die beigesetzte Mittelzahl $\frac{1}{178{,}3}$ oder die runde Zahl $A = \frac{1}{180}$ allgemein annehmen kann.

2tens. Weit mehr sind jedoch die Werthe von B von einander verschieden, indem die Nenner derselben, wie man aus der vorletzten Kolumne sieht, mit dem Durchmesser d der Röhren steigen. Eine vorläufige Untersuchung hat gezeigt, dass diess beinahe im Verhältnisse der Quadratwurzeln der Durchmesser Statt findet, oder dass $B \cdot \sqrt{d}$, wie die der Tabelle beigefügte letzte Kolumne zeigt, in jedem Versuche dem mittlern Werthe von $\frac{1}{15645}$ nahe kommt. Will man daher die, bei den Versuchsreihen I bis VIII aufgefundenen Werthe von B für jeden Fall berechnen, so braucht man

bloss den Bruch $\frac{1}{15645}$ mit $\sqrt{\frac{1}{d}}$ zu multipliziren. Eine genauere Betrachtung der obigen Tabelle zeigt jedoch, dass der Nenner von $B.\sqrt{d}$ in den Versuchen Nr. 5 und 6 mit kleinen Durchmessern von dem sichtbaren Gesetze bedeutend abweicht; wenn wir uns daher an die Werthe von $B.\sqrt{d}$ bei den grössern Durchmessern halten, so kann für $B.\sqrt{d}$ ohne Anstand die runde Zahl $^1/_{18000}$ angenommen werden. Hieraus folgt nun die allgemeine Gleichung für die Bewegung des Wassers in horizontalen Röhren für Durchmesser von 1 bis 5 Zoll, $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{d}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{18000}\sqrt{\frac{1}{d}}\right)$. In diesem Ausdrucke können die Grössen h, v, l, d und g entweder durchaus in Fussen, oder durchaus in Zollen substituirt werden, nur muss im letzten Faktor $\sqrt{\frac{1}{d}}$, der Werth von d immer in par. Zollen angenommen werden. Da übrigens der Pariser Fuss sich zu dem Wiener Fuss = 10276 : 10000 verhält, so können bei diesem unbedeutenden Unterschiede alle Werthe in obiger Gleichung auch im Wiener oder Nied. Oest. Mass substituirt werden, nachdem die Koeffizienten A und B ohnehin nicht bis auf die letzten Ziffern richtig bestimmt werden konnten.

§. 135.

Die Werthe von $A = \frac{1}{180}$ und $B = \frac{1}{18000}\sqrt{\frac{1}{d}}$ in der letzten Formel sind aus den angeführten Versuchen zu dem Zwecke empirisch abgeleitet, weil die Durchmesser der Wasserleitungsröhren gewöhnlich nur 1 bis höchstens 5 Zoll betragen. Bei dieser Ableitung wurde überdiess auf die möglichste Einfachheit einer, für die Anwendung geeigneten Rechnungsformel Rücksicht genommen. Nehmen wir nun in der aufgestellten Gleichung $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100\sqrt{d}}\right)$ für d die Werthe 1 bis 5 an, so erhalten wir für die Bewegung des Wassers in Röhren von diesen Durchmessern folgende Gleichungen:

für 1 zöllige Röhren ist $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100}\right)$

„ 2 „ „ „ $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{141}\right)$

„ 3 „ „ „ $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{173}\right)$

„ 4 „ „ „ $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{200}\right)$

„ 5 „ „ „ $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{224}\right)$.

§. 136.

Wir haben noch einen, für die Bewegung des Wassers äusserst wichtigen Umstand zu berücksichtigen, nämlich die Temperatur des Wassers in den Röhren. Bei den angeführten französischen Versuchen wurde diese Temperatur nicht bemerkt, man kann jedoch annehmen, dass hierbei die gewöhnliche Temperatur von 10 bis 14° *Reaum.* Statt hatte. Da aber das Wasser seinen flüssigen Zustand nur der Wärme zu verdanken hat, und da es bei Abnahme dieser Wärme zu einem festen Körper (zu Eis) wird, so er-

gibt sich von selbst, dass die Flüssigkeit des Wassers bei verschiedenen Wärmegraden verschieden sey, und dass dieser Umstand vorzüglich bei der Bewegung des Wassers in Röhren von kleinem Durchmesser sich von einem merklichen Einflusse zeigen müsse. Diese Betrachtungen bewogen meinen Vater bereits im Jahre 1796 hierüber einige Versuche anzustellen, welche unter dem Titel: „Versuche über die Flüssigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen" in den neueren Abhandlungen der k. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, III. Band, Prag 1798 bekannt gemacht und später in *Gilberts* Analen der Physik, V. Band, Seite 160 aufgenommen wurden.

Bei diesen Versuchen wurde ein zylindrisches Gefäss a b c d von verzinntem Eisenblech 11,5 par. Zoll hoch und $4\frac{11}{12}$ Zoll im Durchmesser gebraucht; dasselbe wurde mit möglichster Sorgfalt von durchaus gleichem Durchmesser verfertigt. Dieses zylindrische Gefäss wurde mit einem andern e f g h umgeben, welches 5,5 Zoll im Durchmesser und 11,75 Zoll Höhe hatte, so dass zwischen den Wänden beider Zylinder überall, wie auch unten am Boden $\frac{1}{4}$ Zoll Zwischenraum vorhanden war. Dieser Zwischenraum wurde bei Versuchen mit höheren Temperaturen mit eben so heissem Wasser angefüllt, um dadurch für den inneren Zylinder während der Dauer des Versuches eine gleichförmigere und beständigere Erwärmung zu erhalten. Nahe am Boden des Zylinders war eine Oeffnung bei c von 4,5 Linien im Durchmesser in horizontaler Richtung angebracht. Durch diese Oeffnung ging eine kurze blecherne Röhre c i, welche an den Wänden des innern und äusseren Zylinders angelöthet war. Zugleich wurde dafür gesorgt, dass diese kurze Röhre nicht über die inwendige Fläche des Gefässes hervorstand, wesshalb dieselbe mit dem innern Zylinder so viel möglich eben gemacht wurde. Oben war das Gefäss mit einem darauf passenden, in der Mitte erhabenen Deckel e k h versehen, der in seiner Mitte k eine 9 Linien weite Oeffnung hatte, durch welche der Masstab eines Schwimmers ganz frei und ohne sich an den Rand der Oeffnung anzulehnen, nieder zu gehen pflegte. Der Schwimmer m n o p war aus 2 sich durchkreutzenden Theilen von Holz zusammengesetzt, deren jeder $4\frac{2}{3}$ Zoll lang, 9,8 Linien breit, und 2 Linien dick war. Dieses Kreuz diente, schwimmend auf der Oberfläche des Wassers, ein rundes beiläufig 1,5 Linien dickes, senkrecht darauf gestecktes Stäbchen q r zu tragen, welches mit aller Sorgfalt in ganze und zehntel Zolle eingetheilt war. Dieser Schwimmer wurde sammt dem Stäbchen vorher durch einige Stunden auf warmes Wasser gesetzt, und als er sich vollkommen angesogen hatte, wurden die Abtheilungen des Masstäbchens so eingerichtet, dass jeder Theilungspunkt bei der Oberfläche des Deckels genau die Höhe des Wasserstandes über der Mitte der Ausflussöffnung anzeigte. Eben so wurde auch dieser Schwimmer vor dem Anfange eines jeden Versuches durch einige Stunden auf Wasser gesetzt, damit er sich jedesmal vorher vollkommen ansaugen und bei den Versuchen selbst keine Unrichtigkeit mehr veranlassen möchte. Nebst dem wurde der Stand des Stäbchens während den Versuchen noch mehrmals geprüft, und jene Versuche wurden verworfen, wo sich eine Unrichtigkeit vermuthen liess.

Fig. 7 und 8. Tab. 47.

Die Glasröhren waren aus einem sehr grossen Vorrath 6 bis 7 Fuss langer Barometerröhren ausgewählt. Man nahm hierbei vorzüglich auf gleiches reines Glas, ohne Knöpfe, und auf einen gleichförmigen Durchmesser Rücksicht. Die ausgewählten Röhren wurden nachher noch einer sorgfältigern Prüfung unterworfen, indem man sie, so wie gewöhnlich die Thermometerröhren, mittelst einer hineingelassenen 4 bis 5 Zoll langen

Fig. 7 und 8. Tab. 47. Quecksilbersäule, Zoll für Zoll prüfte. Nur diejenigen Stücke dieser Röhren, in welchen die Quecksilbersäule sich nicht über $^1/_{80}$ ihrer Länge änderte, wurden für tauglich angenommen. Das übrige wurde beiderseits abgebrochen und das Ende der Röhren bis auf die erforderliche Länge abgeschliffen. Endlich wurde die erwähnte Quecksilbersäule auf einer Probierwage genau abgewogen. Dieses Gewicht diente, nebst der Länge, welche sie in der Röhre einnahm, den Durchmesser derselben weit genauer zu berechnen, als es durch irgend eine andere mikroskopische Messung möglich gewesen seyn würde. Die hierbei nöthige eigenthümliche Schwere des Quecksilbers wurde mittelst eines eigenen Versuches bestimmt und $= 13{,}70$ gefunden.

Um den Einfluss, den die Verschiedenheit des Durchmessers der Röhren auf die Bewegung des Wassers hervorbringt, von jenem abzusondern, den die Länge der Röhren verursacht, hat man Röhren von verschiedenem Durchmesser genau einerlei Länge gegeben, sodann diese Länge abgeändert und so viel möglich die vorigen Durchmesser beibehalten. Ein Ende jeder Glasröhre wurde mit einem hölzernen zapfenförmigen Ansatz bekleidet, womit man sie verlässiger und bequemer an das zylindrische Gefäss anstecken und nach geendigtem Versuche wieder wegnehmen konnte; die durchbohrte Oeffnung des Zapfens war genau so gross, als es die Stärke jeder Glasröhre forderte, und die äussere Grösse der Zapfen passte genau in die oben erwähnte blecherne Röhre des zylindrischen Gefässes. Man sorgte dafür, dass das Ende dieser Zapfen sammt dem Ende der durchgesteckten Glasröhre mit der inneren Fläche des Gefässes eine vollkommene Ebene bildete.

Die Wasserwage diente den Tisch sowohl, worauf das Gefäss stand, als auch die Röhren vollkommen horizontal zu stellen. Röhren, deren Glas ein wenig gebogen war, wurden so gelegt, dass die Fläche ihrer Biegung horizontal zu liegen kam, damit nämlich die Bewegung des Wassers durch die Röhre, so viel möglich, weder steigen noch fallen, sondern in einer horizontalen Ebene fortgehen möchte.

Das Thermometer war von Herrn *Abbé Gruber* mit vieler Genauigkeit verfertigt. Die Kugel hatte nur 3 Linien im Durchmesser. Der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkt und Siedpunkt, der in 80 gleiche Theile getheilt war, hatte eine Länge von 11 Zollen; man konnte daher Zehntheile eines Grades sehr leicht unterscheiden.

Die Verfahrungsart war nun folgende: Nachdem das Gefäss und die angesteckte Röhre in die erforderliche horizontale Stellung gebracht und die Ausflussöffnung der Röhre gehörig verschlossen war, so wurde in das Gefäss heisses Wasser gegossen und der Schwimmer mit dem Masstabe darauf gesetzt. Man wartete nun die Zeit ab, bis durch allmählige Abkühlung die Temperatur des Wassers dem bestimmten Thermometergrade nahe kam. Als diess erfolgte, wurde das Gefäss mit seinem Deckel verschlossen, die Ausflussöffnung der Röhre geöffnet und das Auge mit dem Rande der Oeffnung des Deckels in horizontaler Lage gehalten. In dieser Stellung wurden die Zeitsekunden bemerkt, bei welchen die Abtheilungen des Masstabes unter die Fläche der Oeffnung hinabsanken. Diese Verfahrungsart gewährte den doppelten Vortheil: 1tens dass man jedesmal eine ganze Reihe Versuche, gewöhnlich von 10,7 bis 0,7 Zoll Wasserhöhe erhielt, und 2tens dass ein Versuch den anderen berichtigte, indem die Zwischenzeiten von einer Abtheilung zur andern dem Gesetze einer sich offenbarenden Reihe folgen mussten. Zeigte sich nämlich z. B. die Zwischenzeit von einer Abtheilung zur nächstfolgenden um

1 oder höchstens 2 Sekunden zu klein, so musste die beobachtete Zwischenzeit für die nächstvorhergehende oder nachfolgende Abtheilung um eben so viel zu gross seyn. Die Besorgniss, dass die Oberfläche des Wassers im Gefässe eine kleine hinabsinkende Bewegung hatte, und desswegen mit einem ruhigen Wasserstande keine vollkommene Vergleichung zulasse, fällt weg, wenn wir bedenken, dass diese Bewegung des Wassers im Gefässe bei der grössten angesteckten Röhre über 500 und bei der kleinsten über 5000 Mal kleiner ist, als die Bewegung des Wassers durch die Glasröhre. Wenn wir noch überdiess bedenken, dass bei diesen Versuchen selbst die Geschwindigkeit des Wassers durch die Röhren nicht sehr erheblich war, so erhellet von selbst, dass die Oberfläche des Wassers im Gefässe weit ruhiger seyn musste, als wenn man auf was immer für eine Art von oben in das Gefäss hätte Wasser zugiessen wollen, um dadurch eine beständige Wasserhöhe zu unterhalten.

Der Schwierigkeit, dem Wasser eine **bestimmte Wärme** zu geben und selbe durch eine so lange Zeit zu unterhalten, als das volle Gefäss zu seiner Ausleerung besonders bei engen Röhren nöthig hatte, wurde dadurch abgeholfen, indem man für jede Temperatur 2 Reihen Versuche machte; die erste nämlich bei einem um 1 oder 2 Grade höheren und die zweite bei einem gleichen oder eben so viel niedrigern Thermometergrade, woraus sich nachher die Zeitmomente für den dazwischen liegenden bestimmten Thermometergrad sehr verlässig berechnen liessen. Es versteht sich übrigens von selbst, dass die Versuche für einen höhern Thermometergrad in einem warmen Zimmer und für einen niedrigeren in einem eben so kalten Zimmer gemacht wurden, so dass sich die Temperatur während einer Versuchsreihe im ersten Fall nur sehr wenig, im letzten aber gar nicht änderte. Jedesmal wurde die Wärme des Wassers mit dem Thermometer nicht nur im Gefässe, **sondern auch beim Ausflusse desselben** am Ende der Röhre gemessen. Der Unterschied war jedoch so gering, dass es unnütz seyn würde, beide anzuführen; man hat in dieser Rücksicht von beiden bloss das Mittel in Rechnung genommen.

Höhen des Wasserstandes.	Zeiten des Ausflusses.		Unterschiede.
Par. Zolle.	Minut.	Sek.	Sekunden.
10,7	0	0	
			33
10,6	0	33	
			33
10,5	1	6	
			33½
10,4	1	39½	
			33½
10,3	2	13	
			34
10,2	2	47	
			34
10,1	3	21	
			34½
10,0	3	55½	

Weil sich die Bewegung des Wassers leichter aus seiner Geschwindigkeit, nämlich aus dem Raum, den das Wasser während einer Sekunde in den Röhren zurücklegte, als aus der Zeit des Ausflusses beurtheilen lässt, so sind in den folgenden Tabellen Seite 195 bis 198 die Geschwindigkeiten angeführt, welche bei jeder Wasserstandshöhe erfolgten, und nur am Ende, noch zum Uiberfluss, die Zeiten angemerkt, in welchen das Wasser von 10,7 bis 5,7 und 0,7 Zolle ausgeflossen ist. Die Art, wie diese Geschwindigkeiten berechnet wurden, wird folgendes **Beispiel** deutlich machen. Die erste Röhre, welche 0,0674 Zoll im Durchmesser, folglich 0,00357 Quadratzoll zur Oeffnung hatte, gab bei 30° Wärme nebenstehende Beobachtungen.

Um hieraus die Geschwindigkeit, welche dem Wasserstand 10,2 zugehört, zu finden, wird die Zeit für den nächstvorhergehenden Wasserstand 10,3 von der Zeit für den nächstfolgenden 10,1 (nämlich 2^Min.^ 13^Sek.^ von 3^Min.^ 21^Sek.^) abgezogen; der Unterschied beträgt 68 Sekunden. Daraus folgt die Geschwindigkeit des Wassers im Gefässe $= \frac{0,2}{68}$ Zolle. Wird nun diese Geschwindigkeit mit der Querschnittsfläche des Wassers im Gefässe (= 19 Quadratzolle) multiplizirt, und mit der Querschnittsfläche der Oeffnung (= 0,00357) dividirt, so erhalten wir die Geschwindigkeit des Wassers durch die Röhre = 15,7 Zolle, so wie sie in der folgenden ersten Versuchsreihe angeführt wird.

Uiber den **Ausfluss des Wassers aus der Mündung der Röhren** verdient noch eine Erscheinung angemerkt zu werden. Gewöhnlich bildete der mit einer grossen Geschwindigkeit herausschiessende Wasserstrahl, wie bekannt, eine Parabel. Diese verwandelte sich bei abnehmender Geschwindigkeit in eine gerade senkrechte Linie, welche an der Mündung mit der horizontalen Länge der Röhren einen rechten Winkel bildete. Nachher zeigte der Wasserstrahl eine zurückgehende krumme Linie, welche ihre Konvexität der Röhre zuwendete. Endlich bei noch kleineren Geschwindigkeiten floss dass Wasser horizontal unten an der Röhre zurück, und trennte sich von derselben in Tropfen, die auf verschiedenen Entfernungen von der Ausflussöffnung herabfielen. Um das letztere zu verhindern, und das nämliche Wasser zum Gebrauche für mehrere Versuche zu sammeln, wurde rückwärts, beiläufig 1 Zoll von der Mündung, ein Faden um die Röhre gebunden, das Wasser an demselben gesammelt, und in das zum Auffangen bestimmte Gefäss hinabgeleitet. Diese Veränderungen werden in der folgenden Versuchstabelle durch die Buchstaben s und h angezeigt; nämlich s bedeutet den senkrechten Fall des Wasserstrahls in einer geraden Linie, und h den Anfang der horizontalen zurückgehenden Bewegung desselben.

Der beträchtliche Einfluss, den die Verschiedenheit der Wärme auf die Bewegung des Wassers verursachte, hatte noch den Wunsch erregt, auch über den **Einfluss, den etwa die verschiedenen Bestandtheile des Wassers hervorbringen**, Versuche anzustellen. Zu dieser Absicht wurden die Versuche mit den zwei längeren Röhren, bei welchen nämlich dieser Einfluss sich am grössten hätte zeigen müssen, sowohl mit reinem destillirten Wasser, als auch mit gemeinem trüben Flusswasser wiederhohlt. Das letztere wurde jedoch vorher durch ein weisses leinenes Tuch geseihet, um dadurch die gröbern Unreinigkeiten, welche die Röhren vielleicht verstopft und überhaupt nur Unregelmässigkeiten verursacht haben würden, davon abzuscheiden. Dieses filtrirte Wasser blieb aber noch immer nur halb durchsichtig, und setzte nach geendigten Versuchen, durch eine Ruhe von 14 Tagen, einen feinen Schlamm ab, wodurch es etwas heller wurde. Weil aber die angestellten Versuche zeigten, dass dieser aufgelöste Schlamm zwar einige kleine, aber mit jenen, die von der Wärme herrühren, in keinen Vergleich kommende Aenderungen in der Bewegung des Wassers hervorbrachte, so schien eine weitere Analyse des gebrauchten Flusswassers zur gegenwärtigen Absicht überflüssig. Das Resultat der angeführten Versuche enthalten die folgenden Tabellen:

Versuch I und II.

mit einer Röhre von 0,0674 Zoll ($^4/_5$ Linien) Durchmesser und 33 Zoll Länge.

Höhen des Wasserstandes in pariser Zollen.	Geschwindigkeit des Wassers innerhalb der Röhre in pariser Zollen, bei einer Wärme von *Reaum.* Graden:							
	30°		20°		10°		4°	
	destillirtes Wasser.	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser.	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser.	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser.	trübes Flusswasser.
10,7	16,2	16,2	13,4	13,4	10,0	10,1	7,8	7,7
10,2	15,6	15,6	12,8^h	12,8^h	9,6	9,6	7,5	7,4
9,7	14,9	14,9	12,2	12,1	9,1	9,1	7,2	7,1
9,2	14,3^s	14,2^s	11,7	11,5	8,6	8,5	6,9	6,8
8,7	13,7	13,5	11,1	10,9	8,2	8,0	6,5	6,4
8,2	13,1^h	12,8^h	10,5	10,2	7,7	7,5	6,2	6,0
7,7	12,5	12,1	9,9	9,6	7,2	7,0	5,8	5,6
7,2	11,8	11,4	9,3	9,0	6,8	6,6	5,5	5,3
6,7	11,1	10,7	8,7	8,4	6,4	6,1	5,1	4,9
6,2	10,3	10,0	8,0	7,8	5,9	5,6	4,7	4,5
5,7	9,5	9,2	7,3	7,1	5,4	5,1	4,3	4,1
5,2	8,7	8,4	6,7	6,5	5,0	4,7	4,0	3,7
4,7	7,8	7,6	6,1	5,8	4,5	4,2	3,6	3,4
4,2	6,9	6,8	5,4	5,2	4,0	3,7	3,2	3,0
3,7	6,0	5,9	4,7	4,6	3,5	3,2	2,8	2,6
3,2	5,2	5,1	4,0	4,0	3,0	2,8	2,4	2,2
2,7	4,4	4,3	3,3	3,3	2,5	2,3	2,0	1,8
2,2	3,6	3,5	2,7	2,6	2,0	1,8	1,6	1,4
1,7	2,7	2,6	2,0	2,0	1,5	1,3	1,2	1,0
1,2	1,8	1,7	1,4	1,3	1,0	0,9	0,8	0,6
0,7	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses in Minuten und Sekunden.							
5,7	34′ 40″	35′ 34″	43′ 36″	44′ 35″	59′ 25″	60′ 58″	74′ 16″	76′ 19″
0,7	145′ 50″	157′ 20″	189′ 50″	207′ 50″	261′ 20″	291′ 40″	327′ 0″	381′ 0″

Versuch III und IV.

mit einer Röhre von 0,1333 Zoll (1⅗ Linien) Durchmesser und 33 Zoll Länge.

Höhen des Wasserstandes in par. Zollen.	Geschwindigkeit des Wassers innerhalb der Röhre in pariser Zollen, bei einer Wärme von *Reaum.* Graden:												
	40°		30°		20°		15°		10°		4°		1°
	destillirtes Wasser	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser	trübes Flusswasser.	destillirtes Wasser
10,7	26,6	26,5	26,1	26,6	26,6	27,7	28,3	29,5	27,1	28,3	25,1	24,7	22,6
10,2	26,1	26,0	25,6	26,2	26,1	27,4	28,1	28,0	26,8	27,6	24,3	24,1	22,1
9,7	25,6	25,5	25,1	25,8	25,6	27,1	27,7	28,3	26,4	26,8	23,4	23,4	21,5
9,2	25,0	24,9	24,6	25,3	25,1	26,7	27,2	27,7	25,8	26,0	22,5	22,6	20,8
8,7	24,4	24,3	24,0	24,7	24,6	26,2	26,6	27,1	25,1	25,1	21,5	21,8	20,0
8,2	23,7	23,6	23,3	24,1	24,1	25,7	25,9	26,4	24,2	24,1	20,5	20,8	19,0
7,7	22,9	23,0	22,5	23,4	23,6	25,1	25,1	25,6	23,2	23,1	19,5	19,7	18,0
7,2	22,1	22,3	21,8	22,7	23,1	24,5	24,1	24,6	22,1	22,0	18,4	18,6	16,9
6,7	21,2	21,5	21,2	22,0	22,6	23,8	23,0	23,4	20,9	20,9	17,3	17,2	15,8
6,2	20,3	20,7	20,8	21,3	22,0	22,9	21,8	22,0	19,6	19,7	16,1	16,0	14,7
5,7	19,4	19,8	20,3	20,6	21,3	21,9	20,4	20,4	18,3	18,5	14,9	14,8	13,6
5,2	18,5	19,0	19,7	19,9	20,3	20,7	18,9	18,7	16,9	17,1	13,7	13,6	12,5
4,7	17,6	18,1	19,0	19,1	19,1	19,4	17,4	17,0	15,4	15,7	12,5	12,4	11,3
4,2	16,7	17,3	18,2	18,2	17,7	17,8	15,8	15,4	13,9	14,2	11,3	11,2	10,2
3,7	15,8	16,5	17,2	17,0	16,1	16,0	14,2	13,8	12,3	12,7	10,0	10,0	9,1
3,2	14,9	15,7	15,9	15,4	14,4	14,0	12,5	12,2	10,7	11,1	8,3	8,8s	s 8,0
2,7	14,0	14,3	14,3	13,7	12,5	12,0	10,8	10,6	9,0	9,5	s 7,5	7,5	6,9
2,2	13,0	13,8	12,3	12,0	10,5	10,0	9,0	8,9	s 7,3	7,8	6,1	6,1	5,7
1,7	11,6	12,6	9,9 s	10,3	8,4 s	8,0s	s 7,1	s 7,1	5,6	6,1	4,7 h	4,7	4,4 h
1,2	9,3s	10,6s	7,4	8,5s	6,3 h	6,0 h	5,0 h	5,0 h	4,0	4,2 h	3,2	3,2h	3,0
0,7	5,2	7,0	4,6h	5,2	4,0	3,2	3,0	2,7	2,3	2,3	1,8	1,7	1,6
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses in Minuten und Sekunden.												
5,7	4′51″	4′51″	4′54″	4′46″	4′49″	4′29″	4′40″	4′28″	4′50″	4′46″	5′39″	5′41″	6′ 9″
0,7	13′26″	12′40″	13′50″	13′20″	14′42″	15′ 0″	16′50″	16′30″	19′17″	18′44″	23′37″	23′20″	25′20″

Versuch V.

mit einer Röhre von 0,07 Zoll (5/6 Linien) Durchmesser und 9,7 Zoll Länge.

Höhen des Wasserstandes in par. Zollen.	Geschwindigkeit des reinen destillirten Wassers innerhalb der Röhre in par. Zollen bei einer Wärme von *Reaum.* Graden:			
	30°	20°	10°	4°
10,7	38,4	36,0	31,0	28,4
10,2	37,8	35,5	30,4	27,8
9,7	37,2	34,8	29,7	27,1
9,2	36,5	34,0	28,9	26,2
8,7	35,6	33,0	27,8	25,0
8,2	34,5	31,8	26,5	23,7
7,7	33,2	30,4	25,1	22,3
7,2	31,8	28,9	23,7	20,9
6,7	30,4	27,4	22,2	19,5
6,2	29,0	25,9	20,7	18,2
5,7	27,5	24,4	19,2	16,9
5,2	25,8	22,8	17,8	15,7
4,7	24,0	21,2	16,4	14,5
4,2	22,1	19,5	15,0	13,2s
3,7	20,2	17,7	13,5s	11,8h
3,2	18,2	15,9	12,0	10,4
2,7	16,1	13,8s	10,4h	8,9
2,2	14,0s	11,6h	8,7	7,4
1,7	11,7h	9,2	6,8	5,8
1,2	9,0	6,6	4,8	4,1
0,7	5,4	3,7	2,8	2,4
0,5	3,5	2,9	2,0	1,8
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.			
5,7	12′ 12″	13′ 26″	15′ 51″	18′ 3″
0,7	39′ 0″	47′ 39″	60′ 31″	70′ 38″

Versuch VI.

mit einer Röhre von 0,119 Zoll, (1 3/7 Linien) Durchmesser und 9,7 Zoll Länge.

Höhen des Wasserstandes in par. Zollen.	Geschwindigkeit des reinen destillirten Wassers innerhalb der Röhre in par. Zollen bei einer Wärme von *Reaum.* Graden:				
	40°	30°	20°	10°	4°
10,7	48,7	47,3	46,3	45,4	44,0
10,2	47,5	46,2	45,2	44,5	43,4
9,7	46,3	45,0	44,1	43,6	42,6
9,2	45,0	43,8	42,9	42,5	41,7
8,7	43,5	42,5	41,7	41,3	40,6
8,2	42,0	41,1	40,4	40,0	39,4
7,7	40,3	39,9	39,0	38,5	38,0
7,2	38,6	38,1	37,5	37,0	36,5
6,7	36,8	36,5	36,0	35,4	34,9
6,2	35,1	35,0	34,4	33,7	33,1
5,7	33,5	33,4	32,8	32,0	31,2
5,2	32,0	31,8	31,2	30,2	29,2
4,7	30,5	30,2	29,5	28,4	27,1
4,2	28,9	28,5	27,8	26,5	24,9
3,7	27,2	26,8	26,0	24,5	22,7s
3,2	25,3	24,9	24,1	22,5	20,4
2,7	23,2	22,8	22,0	20,4s	18,1
2,2	20,9s	20,4s	19,7s	18,0	15,7
1,7	18,4	17,5	16,8	15,1	13,2h
1,2	14,4	13,8	13,2	11,8	10,4
0,7	9,4h	8,9s	8,5h	8,1h	7,0
0,5	7,2	7,0	6,7	6,1	5,4
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.				
5,7	3′ 28″	3′ 31″	3′ 34″	3′ 37″	3′ 42″
0,7	9′ 51″	10′ 12″	10′ 31″	11′ 0″	11′ 57″

Versuch VII.

mit einer Röhre von 0,136 Zoll, (1⅔ Linien) Durchmesser und 7,9 Zoll Länge.

Höhen des Wasserstandes in par. Zollen.	Geschwindigkeit des reinen destillirten Wassers innerhalb der Röhre in par. Zollen, bei einer Wärme von *Reaum.* Graden:				
	40°	30°	20°	10°	4°
10,7	54,0	51,4	49,4	47,6	46,0
10,2	52,8	49,9	47,5	45,9	44,8
9,7	51,3	48,2	45,8	44,4	43,7
9,2	49,4	46,4	44,3	43,1	42,7
8,7	47,0	44,5	42,8	41,9	41,7
8,2	44,5	42,7	41,4	40,8	40,6
7,7	42,0	40,9	40,1	39,6	39,4
7,2	39,6	39,1	38,7	38,3	38,1
6,7	37,5	37,4	37,2	37,0	36,6
6,2	35,7	35,7	35,7	35,6	35,1
5,7	34,2	34,2	34,1	34,0	33,5
5,2	33,1	32,9	32,6	32,3	31,8
4,7	31,7	31,4	31,0	30,5	30,0
4,2	30,1	29,7	29,2	28,6	28,0
3,7	28,2	27,8	27,3	26,7	25,7
3,2	26,0	25,8	25,8	24,6	23,2
2,7	23,7	23,5	23,0	22,2	20,5
2,2	21,2	20,9	20,5	19,5	17,6
1,7	18,5	18,0	17,6	16,4	14,5
1,2	15,6	14,6	14,1	12,9	11,1
0,7	11,0	10,4 s	10,0 s	8,8 s	7,2 s
0,5	7,8	7,4	7,0	6,4	5,6
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.				
5,7	2′ 31″	2′ 36″	2′ 39″	2′ 42″	2′ 44″
0,7	7′ 16″	7′ 26″	7′ 35″	7′ 55″	8′ 22″

Versuch VIII.

mit einer Röhre von 0,2 Zoll (2⅖ Linien) Durchmesser und 63 Zoll Länge.

Höhen des Wasserstandes in par. Zollen.	Geschwindigkeit des reinen destillirten Wassers innerhalb der Röhre in par. Zollen, bei einer Wärme von *Reaum.* Graden:				
	40°	30°	20°	10°	2°,5
10,7	25,7	25,2	24,7	24,2	23,7
10,2	25,2	24,7	24,2	23,8	23,4
9,7	24,7	24,2	23,7	23,3	23,0
9,2	24,2	23,7	23,2	22,8	22,5
8,7	23,7	23,1	22,6	22,3	22,0
8,2	23,1	22,4	22,0	21,7	21,4
7,7	22,4	21,7	21,3	21,0	20,7
7,2	21,7	21,0	20,6	20,3	20,0
6,7	20,9	20,2	19,8	19,5	19,2
6,2	20,0	19,4	19,0	18,7	18,4
5,7	19,0	18,5	18,2	17,8	17,4
5,2	17,9	17,6	17,3	16,9	16,4
4,7	16,8	16,6	16,3	15,8	15,2
4,2	15,8	15,5	15,3	14,8	13,8
3,7	14,7	14,4	14,2	13,7	12,2
3,2	13,6	13,2	13,1	12,6	10,6
2,7	12,4	12,0	12,0	11,4	8,9
2,2	11,0	10,7	10,6	9,6	7,2
1,7	9,5	9,4	8,7	7,5 s	5,5 s
1,2	7,9	7,0 s	6,1 s	5,0	3,3 [illegible]
0,7	5,5 s	4,3	3,3 h	2,5 h	2,1
0,5	3,8	2,8 h	2,0	1,6	1,4
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.				
5,7	2′ 14″	2′ 17″	2′ 20″	2′ 22″	2′ 24″
0,7	6′ 23″	6′ 37″	6′ 58″	7′ 39″	8′ 46″

§. 137.

Aus den vorhergehenden Versuchen ist zu ersehen:

1tens. Dass die Wärme, nicht etwa unbedeutende, sondern sehr beträchtliche Aenderungen in der Bewegung des Wassers verursache. Die unten beigesetzten Zeiten des Ausflusses beweisen diess auf eine vorzügliche Art. — Da bei einem jeden der angeführten Versuche I bis VIII, die Röhre, das Gefäss, Wasser und die Höhen des Wasserstandes, folglich alle äussere Ursachen, die auf die Bewegung des Wassers einen Einfluss haben, die nämlichen sind, so folgt offenbar, dass der Widerstand, welcher dem fliessenden Wasser begegnet, nicht allein in äussern Ursachen, sondern auch in der Flüssigkeit des Wassers selbst zu suchen sey.

2tens. Dass die Aenderungen, welche die Wärme in der Geschwindigkeit des Wassers hervorbringt, grösser sind bei Röhren von einem kleinen, und kleiner bei einem grössern Durchmesser; ferner dass sie grösser sind bei kleinern Geschwindigkeiten, und kleiner bei grösseren. Das erste ergibt sich aus der Vergleichung einer Tabelle mit der andern; das zweite sehen wir auf jeder Seite in den untersten Versuchen bei kleinen Wasserstandshöhen, wo die Verhältnisse der Geschwindigkeiten von einem Wärmegrad zum andern gewöhnlich grösser sind als bei grössern Wasserstandshöhen.

3tens. Der Einfluss der Wärme ist am grössten in der Nähe des Gefrierpunktes. Diess sehen wir vorzüglich aus der Tabelle Nr. III und IV, wo die Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers vom 4ten Thermometergrade zum 1ten, oder durch 3 Grade weit grösser ist, als durch 5 und 10 Grade bei höheren Temperaturen. Auch ist sehr sichtbar, dass dieser Einfluss überhaupt nicht im Verhältniss der Wärme zu- und abnehmen, sondern sein Maximum habe, welches sowohl von der Geschwindigkeit des Wassers, als auch von der Grösse des Durchmessers der Röhren abhängt.

4tens. Die Formel von *du Buat* (Seite 176 in der Note) gilt, wenn sie bei den angeführten Versuchen angewendet wird, für keinen bestimmten Wärmegrad. Gewöhnlich gibt sie die grösseren Geschwindigkeiten zu klein, und die kleinen zu gross. — Diejenigen Versuche von *Couplet*, welche *du Buat* mit seiner empirischen Formel nicht übereinstimmend und desswegen verdächtig gefunden hat, dürften demnach doch ihre Richtigkeit und den Grund ihrer Abweichung nur in der Formel des *du Buat* haben. Bei unserer Ableitung haben sich nämlich Seite 189 die Versuche von *Couplet* mit 5 zölligen Röhren als übereinstimmend mit den Versuchen von *du Buat* und *Bossut* gezeigt.

5tens. Die Wärme allein ist aus dem Grunde, weil sie die Flüssigkeit vermehrt, schon hinreichend den Kreislauf des Blutes und der Säfte zu beschleunigen. Der Puls schlägt geschwinder unter heissen Himmelsstrichen als unter kalten. Bei Röhren von sehr geringem Durchmesser, als z. B. diejenigen sind, wodurch die Arterien mit den Venen kommuniziren, macht die Wärme noch weit grössere Aenderungen, als sie in unseren Versuchen vorkommen.

6tens. Eben so sehen wir, warum die Vegetazion in warmen Sommertagen besser von Statten gehe, als im Herbst und Winter. Der zweite Theil der Folgerung unter

3tens zeigt uns zugleich die Ursache, warum für gewisse Pflanzen nur ein bestimmter Wärmegrad am zuträglichsten sey, und warum sie sich nicht nur bei abnehmender, sondern auch bei zunehmender Wärme schlechter befinden.

7tens. Endlich erklären sich noch viele andere Erscheinungen, die bei dem Laufe des Wassers in Röhren, Kanälen und Flüssen beobachtet werden. In unbedeckten Gerinnen bleibt das Wasser sehr auffallend zurück, wenn in dieselben Schnee fällt. Ungeachtet das Wasser noch nicht gefriert, so bildet sich hierbei ein Grundeis, welches dem Wasser mehr Konsistenz gibt und auf eine in die Augen fallende mechanische Art die Verzögerung des Wassers sichtbar macht, die wir durch die angeführten Versuche bei höheren Temperaturen gefunden haben.

§. 138.

Um über den Einfluss der Wärme auf die Bewegung des Wassers in gewöhnlichen Röhren einige Aufklärung zu erhalten, wollen wir den letzten Versuch, wo der Durchmesser $d = 0{,}2$ Zoll und die Länge $l = 63$ Zoll betrug, demnach $d : l = 0{,}2 : 63 = 1 : 315$ war, einer Rechnung unterziehen. Werden die Koeffizienten A und B auf gleiche Art bestimmt, wie wir es bei den 5 zölligen Röhren Seite 180 und 181 gemacht haben, so erhalten wir für die verschiedenen Temperaturen folgende Gleichungen:

für $t = 10^\circ$ ist die Gleichung $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{1}{153} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{11656}\right)$

„ $t = 20^\circ$ „ „ „ $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{1}{137} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{18511}\right)$

„ $t = 30^\circ$ „ „ „ $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{1}{140} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{20765}\right)$

„ $t = 40^\circ$ „ „ „ $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{1}{146} \cdot \frac{v_2}{4g} + \frac{v}{22987}\right)$.

Die Richtigkeit dieser Gleichungen ergibt sich aus nachstehenden Tabellen, worin für jede Beobachtung die Druckhöhe berechnet erscheint.

Versuch mit einer gläsernen Röhre von 0,200 par. Zoll Durchmesser bei der Temperatur des Wassers von 10° *Reaum.*

Nr.	d.	l.	h.	v.	$\frac{v^2}{4g}+\frac{4l}{d}\cdot\frac{v^2}{4g}\cdot\frac{1}{153}+\frac{4l}{d}\cdot\frac{v}{11656}$	Summe h'.	Differenz h—h'.
	pariser Zolle.						
1	0,2	63	10,7	24,2	0,808 + 6,654 + 2,616	10,078	+ 0,622
2	„	„	10,2	23,8	0,782 + 6,440 + 2,573	9,795	+ 0,405
3	„	„	9,7	23,3	0,749 + 6,168 + 2,519	9,436	+ 0,264
4	„	„	9,2	22,8	0,717 + 5,905 + 2,465	9,087	+ 0,113
5	„	„	8,7	22,3	0,686 + 5,649 + 2,411	8,746	— 0,046
6	„	„	8,2	21,7	0,650 + 5,353 + 2,346	8,349	— 0,149
7	„	„	7,7	21,0	0,609 + 5,015 + 2,270	7,894	— 0,194
8	„	„	7,2	20,3	0,569 + 4,686 + 2,194	7,449	— 0,249
9	„	„	6,7	19,5	0,525 + 4,324 + 2,108	6,957	— 0,257
10	„	„	6,2	18,7	0,483 + 3,978 + 2,021	6,482	— 0,282
11	„	„	5,7	17,8	0,437 + 3,599 + 1,924	5,960	— 0,260
12	„	„	5,2	16,8	0,389 + 3,204 + 1,816	5,409	— 0,209
13	„	„	4,7	15,8	0,344 + 2,833 + 1,708	4,885	— 0,185
14	„	„	4,2	14,8	0,302 + 2,487 + 1,600	4,389	— 0,189
15	„	„	3,7	13,7	0,259 + 2,133 + 1,481	3,873	— 0,173
16	„	„	3,2	12,6	0,219 + 1,804 + 1,362	3,385	— 0,185
17	„	„	2,7	11,4	0,179 + 1,474 + 1,232	2,885	— 0,185
18	„	„	2,2	9,6	0,127 + 1,046 + 1,038	2,211	— 0,011
19	„	„	1,7	7,5	0,078 + 0,642 + 0,811	1,531	+ 0,169
20	„	„	1,2	5,0	0,034 + 0,280 + 0,540	0,854	+ 0,346
21	„	„	0,7	2,5	0,009 + 0,074 + 0,270	0,353	+ 0,347
22	„	„	0,5	1,6	0,004 + 0,033 + 0,173	0,210	+ 0,290

Versuch mit einer gläsernen Röhre von 0,200 par. Zoll Durchmesser bei der Temperatur des Wassers von 20° *Reaum.*

Nr.	d.	l.	h.	v.	$\frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{137} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v}{18511}$	Summe h'.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.						
1	0,2	63	10,7	24,7	0,842 + 7,744 + 1,681	10,267	+ 0,433
2	„	„	10,2	24,2	0,808 + 7,431 + 1,647	9,886	+ 0,314
3	„	„	9,7	23,7	0,775 + 7,128 + 1,613	9,516	+ 0,184
4	„	„	9,2	23,2	0,743 + 6,833 + 1,579	9,155	+ 0,045
5	„	„	8,7	22,6	0,705 + 6,484 + 1,538	8,727	— 0,027
6	„	„	8,2	22,0	0,668 + 6,144 + 1,497	8,309	— 0,109
7	„	„	7,7	21,3	0,626 + 5,757 + 1,450	7,833	— 0,133
8	„	„	7,2	20,6	0,586 + 5,389 + 1,402	7,377	— 0,177
9	„	„	6,7	19,8	0,541 + 4,976 + 1,348	6,865	— 0,165
10	„	„	6,2	19,0	0,498 + 4,580 + 1,293	6,371	— 0,171
11	„	„	5,7	18,2	0,457 + 4,203 + 1,239	5,899	— 0,199
12	„	„	5,2	17,3	0,413 + 3,798 + 1,178	5,389	— 0,189
13	„	„	4,7	16,3	0,367 + 3,375 + 1,110	4,852	— 0,152
14	„	„	4,2	15,3	0,323 + 2,971 + 1,041	4,335	— 0,135
15	„	„	3,7	14,2	0,278 + 2,557 + 0,967	3,802	— 0,102
16	„	„	3,2	13,1	0,237 + 2,180 + 0,892	3,309	— 0,109
17	„	„	2,7	12,0	0,199 + 1,830 + 0,817	2,846	— 0,146
18	„	„	2,2	10,6	0,155 + 1,426 + 0,722	2,303	— 0,103
19	„	„	1,7	8,7	0,104 + 0,956 + 0,592	1,652	+ 0,048
20	„	„	1,2	6,1	0,051 + 0,469 + 0,415	0,935	+ 0,265
21	„	„	0,7	3,3	0,015 + 0,138 + 0,225	0,378	+ 0,322
22	„	„	0,5	2,0	0,006 + 0,055 + 0,136	0,197	+ 0,303

Versuch mit einer gläsernen Röhre von 0,200 par. Zoll Durchmesser bei der Temperatur des Wassers von 30° *Reaum.*

Nr.	d.	l.	h.	v.	$\frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\cdot\frac{v^2}{4g}\cdot\frac{1}{140} + \frac{41}{d}\cdot\frac{v}{20765}$	Summe h′.	Differenz h — h′.
	pariser Zolle.						
1	0,2	63	10,7	25,2	0,876 + 7,884 + 1,529	10,289	+ 0,411
2	„	„	10,2	24,7	0,842 + 7,578 + 1,499	9,919	+ 0,281
3	„	„	9,7	24,2	0,808 + 7,272 + 1,468	9,548	+ 0,152
4	„	„	9,2	23,7	0,775 + 6,975 + 1,438	9,188	+ 0,012
5	„	„	8,7	23,1	0,736 + 6,624 + 1,402	8,762	— 0,062
6	„	„	8,2	22,4	0,692 + 6,228 + 1,359	8,279	— 0,079
7	„	„	7,7	21,7	0,650 + 5,850 + 1,317	7,817	— 0,117
8	„	„	7,2	21,0	0,609 + 5,481 + 1,274	7,364	— 0,164
9	„	„	6,7	20,2	0,563 + 5,067 + 1,226	6,856	— 0,156
10	„	„	6,2	19,4	0,519 + 4,671 + 1,177	6,367	— 0,167
11	„	„	5,7	18,5	0,472 + 4,248 + 1,123	5,843	— 0,143
12	„	„	5,2	17,6	0,427 + 3,843 + 1,068	5,338	— 0,138
13	„	„	4,7	16,6	0,380 + 3,420 + 1,007	4,807	— 0,107
14	„	„	4,2	15,5	0,332 + 2,988 + 0,941	4,261	— 0,061
15	„	„	3,7	14,4	0,286 + 2,574 + 0,874	3,734	— 0,034
16	„	„	3,2	13,2	0,240 + 2,160 + 0,801	3,201	— 0,001
17	„	„	2,7	12,0	0,199 + 1,791 + 0,728	2,718	— 0,018
18	„	„	2,2	10,7	0,158 + 1,422 + 0,649	2,229	— 0,029
19	„	„	1,7	9,4	0,122 + 1,098 + 0,570	1,790	— 0,090
20	„	„	1,2	7,0	0,068 + 0,612 + 0,425	1,105	+ 0,095
21	„	„	0,7	4,3	0,026 + 0,234 + 0,261	0,521	+ 0,179
22	„	„	0,5	2,8	0,011 + 0,099 + 0,170	0,280	+ 0,220

Versuch mit einer gläsernen Röhre von 0,200 par. Zoll Durchmesser bei der Temperatur des Wassers von 40° *Reaum.*

Nr.	d.	l.	h.	v.	$\frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{146} + \frac{41}{d} \cdot \frac{v}{22987}$	Summe h'.	Differenz h — h'.
	pariser Zolle.						
1	0,2	63	10,7	25,7	0,911 + 7,862 + 1,409	10,182	+ 0,518
2	„	„	10,2	25,2	0,876 + 7,560 + 1,381	9,817	+ 0,383
3	„	„	9,7	24,7	0,842 + 7,267 + 1,354	9,463	+ 0,237
4	„	„	9,2	24,2	0,808 + 6,973 + 1,326	9,107	+ 0,093
5	„	„	8,7	23,7	0,775 + 6,688 + 1,299	8,762	— 0,062
6	„	„	8,2	23,1	0,736 + 6,352 + 1,266	8,354	— 0,154
7	„	„	7,7	22,4	0,692 + 5,972 + 1,228	7,892	— 0,192
8	„	„	7,2	21,7	0,650 + 5,610 + 1,189	7,449	— 0,249
9	„	„	6,7	20,9	0,603 + 5,204 + 1,146	6,953	— 0,253
10	„	„	6,2	20,0	0,552 + 4,764 + 1,096	6,412	— 0,212
11	„	„	5,7	19,0	0,498 + 4,298 + 1,041	5,837	— 0,137
12	„	„	5,2	17,9	0,442 + 3,815 + 0,981	5,238	— 0,038
13	„	„	4,7	16,8	0,389 + 3,357 + 0,921	4,667	+ 0,033
14	„	„	4,2	15,8	0,344 + 2,869 + 0,866	4,179	+ 0,021
15	„	„	3,7	14,7	0,298 + 2,572 + 0,806	3,676	+ 0,024
16	„	„	3,2	13,6	0,255 + 2,201 + 0,745	3,201	— 0,001
17	„	„	2,7	12,4	0,212 + 1,830 + 0,680	2,722	— 0,022
18	„	„	2,2	11,0	0,167 + 1,441 + 0,603	2,211	— 0,011
19	„	„	1,7	9,5	0,125 + 1,079 + 0,521	1,725	— 0,025
20	„	„	1,2	7,9	0,036 + 0,742 + 0,433	1,261	— 0,061
21	„	„	0,7	5,5	0,042 + 0,362 + 0,301	0,705	— 0,005
22	„	„	0,5	3,8	0,020 + 0,173 + 0,208	0,401	+ 0,099

§. 139.

Da sich aus den für verschiedene Temperaturen berechneten 4 Gleichungen, Seite 200 keine genügende Bestimmung über den Einfluss der Wärme ableiten lässt, und da der Grund hiervon vorzüglich in der geringen Druckhöhe, der Geschwindigkeit und ihren Differenzen von einem Versuche zum andern liegen kann, so wurde ein neuer Versuch mit einer gläsernen Röhre von 0,2 Zoll im Durchmesser und 62 Zoll Länge mit grösseren Druckhöhen angestellt. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der folgenden Tabelle enthalten, worin die beobachteten Geschwindigkeiten für die Temperaturen von 12, 20 und 28 Grad bei gleichen Druckhöhen erscheinen. Aus diesen Erfahrungen ergeben sich folgende Gleichungen für die Bewegung des Wassers:

$$\text{bei } 12^\circ \text{ haben wir } h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{1}{156} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{8569}\right)$$

$$,,\ 20^\circ\ ,,\ ,,\ h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{1}{161} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{9237}\right)$$

$$,,\ 28^\circ\ ,,\ ,,\ h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{d}\left(\frac{1}{164} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{10284}\right)$$

Nach diesen Gleichungen sind die Druckhöhen in den 3 letzten Kolumnen berechnet worden.

Nr.	Durchmesser im Lichten d (der Röhre)	Länge l (der Röhre)	Beobachtete Druckhöhe h.	Beobachtete Geschwindigkeit v bei 12°	20°	28°	Berechnete Druckhöhe h bei 12°	20°	28°
	pariser Zolle.								
1	0,2	62	48	57,0	58,0	59,0	48,4	48,2	48,2
2	„	„	45	54,9	55,9	57,0	45,2	45,0	45,3
3	„	„	42	52,7	53,8	54,9	41,9	42,0	42,2
4	„	„	39	50,5	51,6	52,8	38,8	38,9	39,3
5	„	„	36	48,2	49,3	50,5	35,7	35,8	36,2
6	„	„	33	45,9	47,0	48,1	32,7	32,8	33,1
7	„	„	30	43,5	44,6	45,6	29,7	29,9	30,1
8	„	„	27	41,0	42,0	42,9	26,7	26,8	26,9
9	„	„	24	38,4	39,2	39,9	23,8	23,7	23,6
10	„	„	21	35,6	36,2	36,7	20,8	20,6	20,3
11	„	„	18	32,5	33,0	33,4	17,7	17,5	17,2
12	„	„	15	29,2	29,7	30,0	14,8	14,6	14,2
13	„	„	12	25,8	26,2	26,6	12,0	11,8	11,6
14	„	„	10	23,4	24,0	24,3	10,2	10,1	9,9
15	„	„	8	20,8	21,6	21,8	8,4	8,5	8,2
16	„	„	6	18,0	18,7	19,0	6,6	6,7	6,6
17	„	„	4	14,4	14,8	15,1	4,6	4,6	4,5
18	„	„	2	9,0	9,8	10,2	2,3	2,5	2,5

§. 140.

Aus den abgeleiteten 3 Gleichungen im vorigen §. ersehen wir:

1tens. Der Koeffizient A hat für einen jeden Wärmegrad einen eigenen Werth, welcher mit dem Seite 189 bei Röhren von kleinem Durchmesser gefundenen beinahe übereinstimmt.

2tens. Der Koeffizient B hat ebenfalls verschiedene Werthe. Der angenommenen Bestimmung Seite 190 zu Folge wäre für die mittlere Temperatur von 10 bis 15°, wobei die Versuche I bis VIII angestellt wurden, $B = \frac{1}{18000}\sqrt{\frac{1}{d}} = \frac{1}{18000}\sqrt{\frac{1}{0,2}} = \frac{1}{8050}$, welcher Werth mit jenem im vorigen §. für die Temperatur von 12 Grad gefundenen nahe übereinstimmt.

3tens. Sind die Geschwindigkeiten des Wassers in einer Röhrenleitung so klein, dass v^2 gegen v vernachlässigt werden kann, oder dass der Widerstand nur von dem Produkte B.v abhängt, so nimmt die Wärme, wie die Bestimmung des Werthes von B bei der vorigen Rechnung zeigt, einen bedeutenden Einfluss.

Nehmen wir von den obigen Bestimmungen jene bei 12° und bei 28° als Masstab an, so folgt, dass der Nenner von B durch die Temperatursänderung von $28 - 12 = 16°$ um $10284 - 8569 = 1715$ zunehme; wir finden daher die Vermehrung für t° aus der Proporzion $16° : 1715 = t° : 107\,t$. Demnach wäre in dem obigen Versuche für eine jede Temperatur t der Koeffizient $B = \frac{t}{8569 + 107\,t}$ anzunehmen. Da nun bei grossen Durchmessern, wie aus der Tabelle, Seite 189 bekannt ist, der Nenner von B für die mittlere Temperatur weit grösser als bei Röhren mit kleinen Durchmessern ist, so kommt bei Röhren mit grössern Durchmessern die Zahl 107 t zu einer viel grössern Zahl im Nenner von B zu addiren, als es bei Röhren von kleinen Durchmessern der Fall ist. Hieraus sehen wir, dass die Wärme bei engen Röhren und kleinen Geschwindigkeiten des Wassers einen weit grössern Einfluss, als bei grössern Durchmessern und bedeutenden Geschwindigkeiten verursacht.

Da bei der praktischen Anwendung die Temperatur des Wassers in Röhrenleitungen immer als die mittlere von 10 bis 15° *Reaum.* angenommen werden kann, so können wir uns in der Ausübung mit der §. 134 abgeleiteten allgemeinen Gleichung

$$h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100\sqrt{d}}\right)$$

begnügen. Für eine genauere Bestimmung der Koeffizienten A und B würde noch eine eigene Theorie über den Einfluss erfordert, welchen der Widerstand der Wände gegen die nächsten Wassertheile und gegen jene Theile des fliessenden Wassers, die mehr in der Mitte der Röhre liegen, äussert; eben so wäre noch eine Theorie hinsichtlich des Einflusses der Wärme nöthig, um zu zeigen, in welchem Verhältnisse die geringere spezifische Schwere des wärmern Wassers gegen die Theile der Röhrenwände steht; endlich wäre noch bei kleinen Röhren die Wirkung der Haarröhrchenkraft in Anschlag zu nehmen. Diese Gegenstände gehören aber mehr in das Gebiet der Physik und es dürfte das hierüber angeführte für das praktische Bedürfniss hinreichen.

§. 141.

Wenn in der obigen Gleichung die Länge der Röhrenleitung $l = 0$ ist, so bleibt $h = \frac{v^2}{4g}$, demnach die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers $v = 2\sqrt{g \cdot h}$, welche Gleichung ohne Berücksichtigung der Widerstände der Wände bei dem Ausflusse aus Oeffnungen in dünnen Platten oder bei sehr kurzen Ansatzröhren Statt findet, wie §. 102 gezeigt wurde.

Wenn $4l = 180\,d$ oder $l = 45\,d$, oder wenn die Länge der Röhrenleitung 45 mal so viel als der Durchmesser der Röhren (im Lichten gemessen) beträgt, so haben wir die allgemeine Gleichung $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100\sqrt{d}}$, woraus ersichtlich ist, dass von dem ganzen Gefälle mehr als die Hälfte zur Uiberwältigung der Widerstände der Röhren verwendet werden müsse; es bleibt demnach bei dieser Röhrenleitung weniger als die halbe Gefällshöhe zur Bewirkung der Geschwindigkeit, womit das Wasser fortfliesst, übrig. Es sey z. B. der innere Durchmesser einer Röhrenleitung $d = 4$ Zoll und $4l = 180 \cdot 4$ Zoll oder $l = 180$ Zoll $= 15$ Fuss, so ist für diesen Fall

$h = \frac{v^2}{4g} + \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{200}$. Wäre nun die Geschwindigkeit in der Röhre $v = 2$ Fuss, so ist

$h = \frac{4}{62} + \frac{4}{62} + \frac{2}{200} = 0{,}065 + 0{,}065 + 0{,}01 = 0{,}14$. Hieraus sehen wir, dass von der ganzen Gefällshöhe beiläufig die Hälfte zur Bewirkung der Geschwindigkeit des Wassers und der Rest zur Uiberwältigung der Widerstände bei der Bewegung des Wassers in der Röhrenleitung verwendet wird.

Es muss jedoch nothwendig erinnert werden, dass für alle solche kurze Röhren, wo $4l = 180\,d$ oder $l : d = 45 : 1$ ist, sich keine genaue Bestimmung für die Ausflussmenge des Wassers angeben lässt, weil dasselbe nicht nur zunächst der Einmündung in die Röhre eine Zusammenziehung erleidet, sondern auch bei der Fortsetzung seiner Bewegung innerhalb der Röhre eine solche wellenförmige Bahn annehmen wird, auf welche sich weder die Lehre von der Zusammenziehung des Wasserstrahles, noch jene von den Widerständen des Wassers an den Wänden der Röhre genau anwenden lässt. Zu einer genauen Rechnung wird demnach erfordert, dass die Länge l der Röhren immer mehr als den 100fachen Durchmesser d betrage, wie es bei den Versuchen I bis VIII Seite 182 bis 185 durchaus Statt fand. Nur in diesem Falle tritt keine Zusammenziehung mehr ein, so wie bereits in dem Versuche §. 108 deutlich gezeigt wurde. Wenn jedoch kurze Röhren bei ihrem Einflusse so gestaltet werden, dass sie die Form des zusammengezogenen Wasserstrahles (Seite 144 in der Note) annehmen, so würde auch eine solche kurze Röhre durchaus mit Wasser gefüllt seyn, demnach auch die aufgestellte Theorie über die Widerstände der Bewegung des Wassers vollkommene Anwendung finden.

§. 142.

Bei dem Gebrauche der Gleichung $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100\sqrt{d}}\right)$ ist noch zu bemerken, dass man bei der praktischen Anwendung, wenn es sich nicht um eine sehr

grosse Genauigkeit in der Berechnung handelt, manchmal den ersten Theil des Röhrenwiderstandes $\frac{41}{180\,d} \cdot \frac{v^2}{4g}$ und in andern Fällen den zweiten Theil $\frac{41}{180\,d} \cdot \frac{v}{100\sqrt{d}}$ vernachlässigen kann. Diese 2 Theile werden nämlich einander gleich, wenn $\frac{v^2}{4g} = \frac{v}{100\sqrt{d}}$ oder $v = \frac{4g}{100\sqrt{d}}$. Bei Röhren von 1 Zoll tritt dieser Fall ein, wenn $v = \frac{4\,.\,15{,}5}{100} = 0{,}62$ Fuss ist; bei Röhren von 4 Zoll, wenn $v = \frac{4\,.\,15{,}5}{200} = 0{,}31$ Fuss, bei Röhren von 9 Zoll, wenn $v = \frac{4\,.\,15{,}5}{300} = 0{,}21$ Fuss, endlich bei Röhren von 16 Zoll, wenn $v = \frac{4\,.\,15{,}5}{400} = 0{,}16$ Fuss ist. Da nun unsere Röhrenleitungen gewöhnlich zwischen diesen Dimensionen zu liegen pflegen, so folgt, dass für den Fall, als die Geschwindigkeit des Wassers $^1/_6$ bis $^4/_6$ Fuss beträgt, der Widerstand, welcher von der einfachen Geschwindigkeit des Wassers abhängt, eben so gross sey, als jener Widerstand, der von dem Stosse des Wassers bewirkt wird.

Wenn aber v bedeutend grösser als $^1/_6$ bis $^4/_6$ Fuss ist, demnach 3, 4 oder mehr Fuss beträgt, so kann man ohne Anstand den Theil $\frac{41}{180\,d} \cdot \frac{v}{100\sqrt{d}}$ als zu unbedeutend weglassen, und man erhält die Gleichung $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{180\,d} \cdot \frac{v^2}{4g}$, woraus die Geschwindigkeit $v = 2\sqrt{\frac{g\,.\,h}{1 + \frac{41}{180\,d}}}$ folgt.

Ist aber die Geschwindigkeit v des Wassers so unbedeutend, dass sie nur einen Zoll oder weniger beträgt, so kann $\frac{41}{180\,d} \cdot \frac{v^2}{4g}$ gegen $\frac{41}{180\,d} \cdot \frac{v}{100\sqrt{d}}$ weggelassen werden und wir erhalten $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{41}{180\,d} \cdot \frac{v}{100\sqrt{d}}$. Diese Formel wird demnach ihre Anwendung finden, wenn die Druckhöhen sehr gering und die Durchmesser der Röhren klein sind. Um aber zu entscheiden, ob man die eine oder andere Formel wählen solle, ist es nothwendig, die Wassermenge, welche die Röhrenleitung geben soll und den Durchmesser derselben beiläufig zu kennen, und hieraus v ebenfalls beiläufig zu bestimmen.

§. 143.

Die bisherigen Betrachtungen haben uns gezeigt, dass die Druckhöhe zur Uiberwältigung der Widerstände einer Röhrenleitung desto grösser seyn müsse, je grösser die Länge der Röhrenleitung und je kleiner der Durchmesser derselben im Lichten ist. In weiten Röhren findet daher das Wasser keinen so grossen Widerstand, wie in engen, und durch weite Röhren wird verhältnissmässig viel mehr Wasser als durch enge Röhren fliessen. Um diese Folgerung deutlicher zu machen, nehmen wir zwei Röhrenleitungen an, welche beide neben einander fortlaufen und dieselbe Länge l = 400 Fuss, so wie auch dasselbe Gefälle h = 20 Fuss haben; es sey jedoch der Durchmesser der ersten Röhrenleitung 3 Zoll und jener der zweiten 6 Zoll. Da sich die Flächen wie die Quadrate der Durchmesser der Röhren verhalten, so würde aus der zweiten Röhrenleitung 4 Mal so viel Wasser ausfliessen, als aus der ersten, wenn die Geschwindigkeit am

Ende beider Röhren **gleich** wäre. Nehmen wir $l = 400$ Fuss und $h = 20$ Fuss an, so ist im ersten Falle $v = 2\sqrt{\dfrac{15{,}5 \,.\, 20}{1 + \dfrac{4 \,.\, 400}{180 \,.\, \frac{1}{4}}}} = 2{,}9$ Fuss und im zweiten Falle $v' = 2\sqrt{\dfrac{15{,}5 \,.\, 20}{1 + \dfrac{4 \,.\, 400}{180 \,.\, \frac{1}{2}}}} = 4{,}1$ Fuss; es verhält sich daher $v' : v = 1{,}4 : 1$ und wir sehen, dass die 6 zöllige Wasserleitung $4 \,.\, 1{,}4 = 5{,}6$ Mal mehr Wasser als die 3 zöllige Wasserleitung in gleicher Zeit geben wird.

§. 144.

Bei allen bisherigen Untersuchungen haben wir die Röhren **horizontal** wie Fig. 9 an den Behältern angebracht vorausgesetzt. Es kann jedoch der Fall eintreten, dass die Röhren von dem Behälter aus in verschiedenen Neigungen z. B. wie Fig. 10 oder Fig. 11 gegen den Horizont fortlaufen. Es ist offenbar, dass in einem jeden dieser Fälle für das Gefälle oder die Druckhöhe h bloss der Höhenunterschied von der Oberfläche des Wassers im Behälter bis zur Mitte der Ausflussöffnung anzunehmen sey. Fig. 9 bis 11. Tab. 47.

Wir haben bereits oben angeführt, dass die Geschwindigkeit des Wassers in einer Röhrenleitung von einerlei Durchmesser durchaus gleich seyn müsse, indem dasjenige Wasser, was in 1 Sekunde zufliesst, auch wieder in 1 Sekunde abfliessen muss. Aus demselben Grunde kann bei dem Ausflusse des Wassers am Ende der Röhrenleitung **keine Zusammenziehung** mehr eintreten. Wir haben demnach für die Wassermenge, welche eine Röhrenleitung in 1 Sekunde gibt, immer die Gleichung $M = f \,.\, v$ oder auch $M = \frac{11}{14} d^2 \,.\, v$ (I) Hierzu kommt die zweite Gleichung für die Bewegung des Wassers

$$h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100\sqrt{d}}\right). \quad \text{(II)}$$

In diesen zwei Gleichungen kommen 5 veränderliche Grössen, nämlich die Wassermenge M in 1 Sekunde, der Durchmesser d der Röhre im Lichten, die Länge l der Röhrenleitung, das ganze Gefälle h derselben und endlich die Geschwindigkeit v des Wassers in der Röhrenleitung vor. Wenn daher von diesen 5 Grössen drei gegeben sind, kann man die übrigen zwei berechnen.

§. 145.

1tes **Beispiel**. Es sey die Gefällshöhe h, die Länge der Röhrenleitung l und ihr Durchmesser d gegeben; es fragt sich, mit welcher Geschwindigkeit v das Wasser in der Röhre fliessen werde, und welche Wassermenge M man in einer Sekunde erhält. Wir haben für diesen Fall $h = \frac{v^2}{4g} + \frac{4l}{180\,d}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100\sqrt{d}}\right) = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{4l}{180\,d}\right) + \frac{4l \,.\, v}{18000\,d\sqrt{d}}$.

Wird hier der Koeffizient von v^2 weggeschafft und das Quadrat ergänzt, so ist, da offenbar nur das positive Wurzelzeichen Statt finden kann:

$$v = \sqrt{\frac{4g \,.\, h}{1 + \frac{4l}{180\,d}} + \left\{\frac{8g \,.\, l}{18000\,d\left(1 + \frac{4l}{180\,d}\right)\sqrt{d}}\right\}^2} - \frac{8g \,.\, l}{18000\,d\left(1 + \frac{4l}{180\,d}\right)\sqrt{d}}.$$

Aus dieser Gleichung lässt sich für einen jeden Fall der Werth von v berechnen. Wird dieser mit der Querschnittsfläche im Lichten der Röhre multiplizirt, so gibt das Produkt die Wassermenge M in einer Sekunde.

Es sey die Druckhöhe des Wassers oder der Höhenunterschied vom Wasserspiegel im Behälter bis zum Ausflusse aus der Röhre $h = 20$ Klafter $= 120$ Fuss, der Durchmesser im Lichten der Röhrenleitung $d = 4$ Zoll $= {}^1/_3$ Fuss und die Länge derselben vom Behälter bis zu dem Orte des Ausflusses $l = 400$ Klafter $= 2400$ Fuss, so ergibt sich die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre durch Substituzion in der obigen Gleichung $v = 6{,}6$ Fuss.

Hätte man dagegen auf die Widerstände des Wassers bei der Bewegung in den Röhren keine Rücksicht genommen, und die Geschwindigkeit bloss aus der Druckhöhe berechnen wollen, so wäre $v = 2\sqrt{g \cdot h} = 2\sqrt{15{,}5 \cdot 120} = 86$ Fuss. Dieser Unterschied zwischen beiden Geschwindigkeiten ist so ausserordentlich gross, dass man in keinem Falle in der Ausübung den Einfluss des Widerstandes der Röhren vernachlässigen kann. Die Wassermenge, welche diese Röhrenleitung in einer Sekunde gibt, findet man nunmehr leicht aus der Gleichung $M = {}^{11}/_{14}\, d^2 \cdot v = {}^{11}/_{14}\, ({}^1/_3)^2 \cdot 6{,}6 = 0{,}58$ Kubikfuss; dieselbe beträgt demnach in jeder Stunde 2088 Kubikfuss.

Hierbei muss nothwendig erinnert werden, dass diese Wassermenge das Maximum sey, welches man in dem gegebenen Falle erhalten kann. Sollten sich die Röhren verschlämmen, oder bei den Zusammenfügungen Ungleichheiten im Durchmesser vorhanden seyn, so entstehen neue Widerstände, welche die Wassermenge abermals vermindern. Bei unserer Berechnung ist nur das Minimum der Widerstände in Anschlag gebracht, so wie wir auch bei der Reibung der festen Körper immer nur das Minimum der Widerstände, welche bei vollkommen geglätteten Oberflächen nothwendig vorhanden sind, angeschlagen haben. Sind die Oberflächen der reibenden festen Körper nicht vollkommen geglättet, oder finden bei Wasserleitungen in der Zusammensetzung der Röhren ungleiche Durchmesser Statt, oder verschlämmen sich die Röhren, oder werden endlich die Röhren, wie es zuweilen geschieht, durch hinein gefallene Steine oder andere Körper verstopft, so wird die Geschwindigkeit und demnach auch die Wassermenge noch mehr vermindert. Diese Umstände, und vorzüglich der letztere liegen jedoch ausser der Möglichkeit einer genauen Berechnung.

2tes Beispiel. Um zu zeigen, in welchem Verhältnisse die Geschwindigkeiten in einer Röhrenleitung sich bei Zunahme der Länge vermindern, wollen wir in dem obigen Beispiele, wo $h = 120$ Fuss und $d = {}^1/_3$ Fuss ist, verschiedene Werthe für die Länge l annehmen, und wir erhalten:

für die Länge	$l =$	100	Klafter,	die Geschwindigkeit	$v =$	13,3	Fuss
„ „	$l =$	200	„	„ „	$v =$	9,4	„
„ „	$l =$	300	„	„ „	$v =$	7,7	„
„ „	$l =$	400	„	„ „	$v =$	6,6	„
„ „	$l =$	500	„	„ „	$v =$	5,9	„
„ „	$l =$	600	„	„ „	$v =$	5,4	„
„ „	$l =$	700	„	„ „	$v =$	5,0	„
„ „	$l =$	800	„	„ „	$v =$	4,7	„
„ „	$l =$	900	„	„ „	$v =$	4,4	„
„ „	$l =$	1000	„	„ „	$v =$	4,2	„

Hieraus zeigt sich offenbar, welchen ausserordentlichen Einfluss die Länge einer Röhrenleitung auf die Geschwindigkeit und die Wassermenge nimmt, und wie sehr man in jedem Falle bedacht seyn müsse, eine jede unnöthige Verlängerung der Wasserleitungsröhren zu vermeiden.

3tes Beispiel. Ein Bräuhaus braucht in jeder Minute 6 Kubikfuss Wasser. Das Wasser wird durch eine 3000 Fuss lange Röhrenleitung zugeführt. Die Gefällshöhe auf diese ganze Länge beträgt 4 Fuss. Es fragt sich, wie gross der Durchmesser der Röhren angenommen werden müsse, damit die verlangte Wassermenge in der bestimmten Zeit ausfliesst und mit welcher Geschwindigkeit sich das Wasser in der Röhre bewegen werde.

In diesem Falle ist $M = \frac{6}{60} = 0{,}1$ Kubikfuss, dann $h = 4$ Fuss, $l = 3000$ Fuss, und es ist v und d zu bestimmen. Substituiren wir die gegebenen Werthe in die §. 144 aufgestellten 2 Gleichungen, so ist

$0{,}1 = \frac{11}{14} \cdot d^2 \,.\, v$ und $4 = \frac{v^2}{62} + \frac{4\,.\,3000}{180\,d}\left(\frac{v^2}{62} + \frac{v}{100\sqrt{d}}\right)$. Wollte man aus der ersten Gleichung den Werth für v in die zweite Gleichung substituiren, so liesse sich die letztere selbst durch höhere Rechnung nur sehr schwer auflösen. Es bleibt daher nichts übrig, als verschiedene Werthe für d anzunehmen, und zu untersuchen, bei welchem Durchmesser (d) der verlangte Ausfluss eintritt, oder wann beide Gleichungen zutreffen.

Nehmen wir zuerst den Werth $d = 2$ Zoll $= \frac{1}{6}$ Fuss an, so ist

$v = \frac{14\,.\,36}{10\,.\,11} = 4{,}58$ und wird diess in die zweite Gleichung substituirt, so ist

$h = \frac{(4{,}58)^2}{62} + \frac{4\,.\,3000}{180\,.\,\frac{1}{6}}\left(\frac{(4{,}58)^2}{62} + \frac{4{,}58}{100\sqrt{2''}}\right) = 148{,}63$ Fuss, wogegen h nur 4 Fuss betragen darf. Wir sehen hieraus, dass man für d grössere Werthe annehmen muss; wir wollen daher einige solche Werthe versuchen und erhalten folgende Resultate:

für d	ist v	demnach h
2 Zoll	4,58 Fuss	148,63 Fuss
3 „	2,04 „	21,11 „
4 „	1,15 „	5,44 „
4,2 „	1,04 „	4,31 „
4,5 „	0,91 „	3,15 „
5 „	0,73 „	1,91 „

Aus dieser Tabelle sehen wir, dass der wahre Werth von d zwischen 4,2 und 4,5 liegt. Nehmen wir nämlich $d = 4{,}2$ an, so ist $h = 4{,}31$, daher um 0,31 zu gross; nehmen wir jedoch $d = 4{,}5$, so wird $h = 3{,}15$, oder um 0,85 zu klein. Man kann daher nach der *regula falsi* sagen: Eine Aenderung von d um $4{,}5 - 4{,}2 = 0{,}3$ bringt eine Aenderung von h um $4{,}31 - 3{,}15 = 1{,}16$ hervor, wie viel muss man daher zu $d = 4{,}2$ addiren, um den wahren Werth zu erhalten, oder um die Differenz $4{,}31 - 4 = 0{,}31$ zu bewirken; demnach ist: $1{,}16 : 0{,}3 = 0{,}31 : x$, woraus $x = 0{,}08$ und demnach der wahre Werth von $d = 4{,}2 + 0{,}08 = 4{,}28$ Zoll. Diess gibt die Geschwindigkeit $v = \frac{14\,.\,12\,.\,12}{11\,.\,10\,.\,4{,}28\,.\,4{,}28} = 1{,}00$ Fuss. Versucht man, in wie ferne dieser Werth von d und v zutrifft, so gibt die Substituzion $h = \frac{(1{,}00)^2}{62} + \frac{4\,.\,3000\,.\,12}{180\,.\,4{,}28}\left(\frac{(1{,}00)^2}{62} + \frac{1{,}00}{100\sqrt{4{,}28}}\right) = 3{,}92$ Fuss. Da aber h genau

4 Fuss betragen soll, so fehlt hier nur noch 0,08 Fuss, welches so unbedeutend ist, dass man diese Differenz ohne Anstand vernachlässigen kann.

§. 146.

Wir haben bisher die Gesetze der Bewegung und des Widerstandes, welchen das Wasser in geraden Röhren findet, zu bestimmen gesucht. Weil aber die Röhrenleitungen sich nach der Beschaffenheit des Terrains richten müssen, so muss man auch bei den meisten Röhrenleitungen von der vollkommen geraden Richtung abgehen und den Röhren oft vielfache Biegungen sowohl auf- als abwärts, als auch in der horizontalen Lage geben. Zur Erklärung des Widerstandes, den man in solchen Fällen bei der Bewegung des Wassers wahrgenommen hat, glaubten die meisten Schriftsteller annehmen zu dürfen, dass das Wasser in Flüssen und in Röhren in jeder Biegung nach dem allgemeinen Gesetze der Bewegung seine gerade Richtung ab beibehalten, durch be fortsetzen, dann bei e abgewiesen, und nach der Richtung efg des folgenden Röhrenstückes fortgetrieben werden müsse. Unter dieser Voraussetzung ist demnach die Kraft, welche den Wasserstrahl bei e zurücktreibt, der Linie eo = 2em proporzional. Setzen wir nun den Winkel bcf = w, so ist der Winkel mbe = mcb = ½ w, demnach verhält sich der Druck des Wassers eo an die Röhrenwand zur Kraft be, welche das Wasser bei seiner Bewegung besitzt, wie 2em : be oder wie 2 Sin ½ w : 1. Die Kraft womit das Wasser in den Röhren fortfliesst, ist offenbar dem Gewichte derjenigen Wassersäule gleich, welche dem Wasser die Geschwindigkeit v ertheilte; diese hat aber die Querschnittsfläche f der Röhre und die Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}$ zu ihrem Masse. Demnach ist der Druck, womit das Wasser an der gebogenen Röhrenwand zurückgetrieben wird $= 56{,}4\, f \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot 2 \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2} w$. Die Kraft, welche die Bewegung des Wassers durch gebogene Röhren hindert, muss diesem Drucke proporzional seyn, und man kann sonach den Widerstand des Wassers in gebogenen Röhren $= 56{,}4\, m \,.\, f \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot 2 \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2} w$ setzen, wo m eine durch Versuche zu bestimmende Grösse bezeichnet. Da aber zur Gewältigung dieses Widerstandes in dem ursprünglichen Wasserbehälter eine Druckhöhe h′ vorhanden seyn muss, so haben wir $56{,}4 f \,.\, h' = 56{,}4\, m \,.\, f \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot 2 \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2} w$, oder $h' = m \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot 2 \operatorname{Sin} \tfrac{1}{2} w$.

Fig. 12. Tab. 47.

Wir sehen hieraus, dass die Höhe h′ um so grösser ist, je mehr die Röhre gebogen oder je grösser der Winkel w ist. Setzen wir diesen Winkel = 180 Grad, so ist der Widerstand der grösste, nämlich $= m \cdot \frac{v^2}{2g}$. Wäre w grösser als 180 Grad, z. B. = 200°, so würde Sin ½ w = Sin 100° = Sin 80°, also kleiner als 1 seyn, und der Widerstand wäre wieder kleiner. Diesem Uibelstande, dass die Wiederstände der Biegungen von 180 + φ und 180 — φ einander gleich seyn sollen, so wie es die Sinusse sind, glaubte *du Buat* dadurch zu begegnen, dass man bei grössern Biegungswinkeln mehr als eine Zurückprallung

annehmen könne, demnach den Widerstand der Summe der Sinusse aller Abprallungswinkel oder $h' = 2m \cdot \frac{v^2}{4g}$ (Sin $\frac{1}{2}$ w + Sin $\frac{1}{2}$ w' + Sin $\frac{1}{2}$ w''....) setzen könne. Die Grösse der einzelnen Abprallungswinkel hat *du Buat* nicht bestimmt, sondern bei seinen Versuchen sich an die Grössen von 24° 34', dann 36° und 56° 14' gehalten.

Da die Bewegung des Wassers der Biegung um so näher kommt, je kleiner die Abprallungswinkel angenommen werden, so können wir allerdings annehmen, dass man bei dieser Vorstellungsart der Wahrheit sich nähere; dabei ist aber doch zu bemerken, dass auch der Widerstand um so grösser wird, je kleiner die Abprallungswinkel angenommen werden; wenn wir z. B. einen Winkel von 144° in zwei Winkel zu 72° eintheilen, so ist 2 Sin 72° = 1,902; wird aber derselbe Winkel von 144° in 24 Theile, jeder von 6° getheilt, so ist 24 Sin 6° = 2,509, also viel grösser. Hieraus folgt, dass man den Widerstand des Wassers in krummen Röhren ganz genau erhalten könne, wenn der Biegungswinkel in eine sehr grosse Anzahl Theile getheilt wird, folglich 2 Sin $\frac{1}{2}$ w dem Linearmasse des Winkels, oder = w gesetzt werden müsse.

Diese Betrachtung lässt sich noch durch folgende genauere Berechnung rechtfertigen. Wir haben bereits in der Mechanik fester Körper, und wieder Seite 142 gezeigt, dass jeder Körper, der sich nach einer krummen Linie bewegen soll, in jedem Punkte seiner Bahn eine Fliehkraft P äussere, welche durch die Gleichung $P = \frac{Q \cdot v^2}{2g \cdot r}$ ausgedrückt wird, wo Q das Gewicht des Körpers, v seine Geschwindigkeit und r den Krümmungshalbmesser der Bahn bezeichnet. Setzen wir die Masse oder das Gewicht eines solchen Theiles seinem kubischen Inhalte f . mn gleich, so ist die Kraft, womit der Körper an die Wand der Röhre drückt $= \frac{f \cdot mn \cdot v^2}{2g \cdot r}$. Nun ist aber $\frac{mn}{r}$ = dem Linearmasse des Winkels w. Fig. 13. Tab. 47.
Es ist sonach der Druck des Elementartheiles an die Röhrenwand $= f \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot w$. Auf gleiche Weise ist der Druck des folgenden Theiles $= f \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot w'$, jener des dritten $= f \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot w''$..... Setzen wir w + w' + w''.... = dem Bogen a b = W, so ist der Druck aller Theile, die in der Biegung enthalten sind $= f \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot W$. Sind auf gleiche Art in der Röhre noch mehrere Biegungen vorhanden und werden dieselben mit W', W''..... bezeichnet, so ist der gesammte Druck, der in allen diesen Biegungen an die eine oder andere Seite der Röhrenwand entsteht $= f \cdot \frac{v^2}{2g}$ (W + W' + W'' + ...). Wir können demnach den Widerstand, der aus diesem Druck an die Röhrenwand entsteht, durch den Kubikinhalt des Wassers $m . f \cdot \frac{v^2}{2g}$ (W + W' + W''....) vorstellen. Zur Uiberwältigung dieses Widerstandes sey in dem Behälter die Wassersäule h' nothwendig, so wird der Druck des Wassers gegen die Röhre = f . h' seyn. Demnach haben wir
$f . h' = m . f \cdot \frac{v^2}{2g}(W + W' + W'' + ...)$ und $h' = m \cdot \frac{v^2}{2g}(W + W' + W'' + ...)$.

§. 147.

Es kommt nun wieder darauf an, den Koeffizienten m durch Versuche zu bestimmen. Wir werden zu diesem Behufe die Resultate der von *du Buat* hierüber angestellten Versuche benützen, welche im 3ten Kapitel seiner „*Principes d'Hydraulique*" enthalten sind. *Du Buat* bediente sich eines Behälters, an welchem immer 2 Röhren von gleichem Durchmesser und gleicher Länge angesetzt waren. Die eine Röhre war gerade, die andere unter einem bestimmten Winkel gekrümmt. Die geraden Röhrenstücke waren von Weissblech verfertigt, die krummen Stücke aber von Blei und so genau an die geraden angesetzt, dass bei den Zusammenfügungen weder ein Wulst, noch ein Einschnitt oder eine Vertiefung sichtbar war. Alle Krümmungen waren Kreisbogen, deren Mittelpunktswinkel genau gemessen wurden.

Bei jedem Versuche wurde nun zuerst die Höhe des Wasserstandes im Behälter gemessen, welcher bei der geraden Ansatzröhre eine bestimmte Geschwindigkeit v des ausfliessenden Wassers bewirkte. Hierauf wurde in demselben Behälter die Höhe des Wasserstandes ausgemittelt, welcher zur Bewirkung derselben Geschwindigkeit v in der gekrümmten Ansatzröhre erforderlich war. Der Unterschied dieser Wasserstandshöhen gab die Druckhöhe h', welche zur Uiberwältigung des Widerstandes in Biegungen erfordert wurde. Hieraus lässt sich nun der Koeffizient m ableiten.

Da in diesen Versuchen die Winkel in Graden angegeben sind, so haben wir für die Einführung derselben in unsere aufgestellte Rechnung erst folgende Proporzion zu machen : $180^\circ : 3{,}141593 =$ die gegebene Anzahl Grade (γ) : zur Länge des Bogens (W), woraus $W = \frac{3{,}141593 \cdot \gamma}{180}$ folgt. Da ferner für pariser Mass $2g = 724{,}7 \cdot \frac{1}{2} = 362{,}35$ Zoll, so gibt diess substituirt in die, im vorigen §. abgeleitete Gleichung

$$h' = m \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{3{,}141593}{180} \cdot \gamma = m \cdot v^2 \cdot 0{,}000048 \cdot \gamma.$$

In der nachfolgenden Tabelle erscheinen sowohl die, bei den Versuchen gefundenen Werthe für h und v, als auch die aus jedem Versuche abgeleitete Gleichung zur Bestimmung des Koeffizienten m.

Nr.	Der Röhren		Druckhöhe des Wassers im Behälter bei den		Unterschied beider h'.	Geschwindigkeit des Wassers in beiden Röhren v.	Biegungswinkel γ in Graden.	Abgeleitete Gleichung.
	Durchmesser.	Länge.	geraden Röhren.	gebogenen Röhren.				
	pariser Zolle.							
1	1	24	36,25	41,0	4,75	122,59	288	4,75 = m . 207,751
2	„	„	27,0	30,5	3,5	106,453	288	3,50 = m . 156,657
3	„	„	18,0	20,33	2,33	84,948	288	2,33 = m . 99,522
4	„	„	9,0	10,08	1,08	59,247	288	1,08 = m . 48,525
5	„	117	36,0	38,49	2,49	84,945	216	2,49 = m . 74,812
6	„	„	36,0	37,5	1,5	84,945	144	1,50 = m . 49,875
7	„	„	36,0	36,75	0,75	84,945	72	0,75 = m . 24,937
8	„	„	36,0	37,5	1,5	84,945	196,5	1,50 = m . 68,058
9	„	„	36,0	37,12	1,12	84,945	147,4	1,12 = m . 51,052
10	„	„	36,0	36,75	0,75	84,945	98,3	0,75 = m . 34,046
11	„	„	36,0	36,37	0,37	84,945	49,1	0,37 = m . 17,006
12	„	„	36,0	42,0	6,0	84,945	112,5	6,00 = m . 38,985
13	„	„	36,0	41,9	5,9	84,945	irregulär	
14	„	„	18,0	19,5	1,5	58,438	288	1,50 = m . 47,209
15	„	„	18,0	18,75	0,75	58,438	144	0,75 = m . 23,604
16	„	„	18,0	18,37	0,37	58,438	72	0,37 = m . 11,802
17	„	„	18,0	18,75	0,75	58,438	196,5	0,75 = m . 32,210
18	„	„	18,0	19,5	1,5	58,438	112,5	1,50 = m . 18,441
19	„	„	26,945	32,85	5,905	71,59	720	5,905 = m . 177,124
20	„	138,5	20,95	22,59	1,64	58,808	288	1,64 = m . 47,809
21	„	„	6,0	6,41	0,41	29,33	288	0,41 = m . 11,892
22	„	737	23,7	24,09	0,39	28,657	288	0,39 = m . 11,353
23	2	255¹/₄	16,33	17,67	1,34	58,72	288	1,34 = m . 47,666
24	„	„	36,35	39,25	2,90	86,308	288	2,90 = m . 102,976
25	„	„	36,35	45,09	8,64	86,308	767,3	8,64 = m . 274,352

Werden sämmtliche in der letzten Kolumne enthaltene Gleichungen addirt, so erhalten wir 52,235 = m . 1677,644, woraus $m = \frac{52{,}235}{1677{,}644} = \frac{1}{32}$ **folgt. Wird dieser Werth**

in die früher angeführte Gleichung $h' = m \cdot v^2 \cdot \gamma \cdot 0{,}000048$ substituirt und hierin mit $4g$ dividirt und mit dem gleichen Werthe $724{,}7$ multiplizirt, so erhalten wir $h' = \frac{-52{,}235}{1677{,}644} \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot 724{,}7 \cdot 0{,}000048 \cdot \gamma = \frac{\gamma}{923} \cdot \frac{v^2}{4g}$. In dieser Gleichung kann nun h', v und g entweder in Fussen oder in Zollen, im französischen oder N. Oe. Masse substituirt werden, jedoch muss γ immer in Graden ausgedrückt seyn. Da wir statt 923 die runde Zahl 1000 annehmen können, so folgt, dass die Druckhöhe h' zur Uiberwältigung des Widerstandes gekrümmter Röhren erhalten wird, wenn man die Geschwindigkeitshöhe des fliessenden Wassers $\left(\frac{v^2}{4g}\right)$ mit dem 1000ten Theile der Summe der Biegungswinkel der Röhre multiplizirt. Hierbei ist wieder zu bemerken, dass man auf diese Art nur das Minimum des Widerstandes erhält, indem die Versuche mit vollkommen gleichförmig gekrümmten Röhren von durchaus einerlei Durchmesser angestellt wurden. Wenn demnach bei einer Wasserleitung in Krümmungen Röhren zusammengefügt sind und diese nicht vollkommen passen, wenn die Röhren in den Krümmungen sich verschlämmen oder andere Hindernisse entstehen, so wird eine neue Druckhöhe zur Uiberwältigung derselben erfordert.

§. 148.

Mit Hülfe der vorstehenden Berechnung lassen sich alle über gekrümmte Röhrenleitungen vorkommende Aufgaben auflösen.

1tes Beispiel. Es sey die Länge einer Röhrenleitung $l = 6000$ Fuss, die Druckhöhe des Wassers oder das Gefälle vom Wasserspiegel im Behälter bis zur Ausflussöffnung $h = 10$ Fuss, der Durchmesser der Röhren im Lichten $d = 3$ Zoll $= \frac{1}{4}$ Fuss, endlich die Biegungswinkel der Röhrenleitung $w = 90^0$, $w' = 120^0$, $w'' = 130^0$, $w''' = 70^0$ und $w'''' = 80^0$; es fragt sich, mit welcher Geschwindigkeit das Wasser in dieser Röhrenleitung fliessen werde, und wie viel die abgeführte Wassermenge betrage. Fig. 14. Tab. 47.

Da hier $w + w' + w'' + w''' + w'''' = 490^0 = \gamma$, so ist die Druckhöhe zur Uiberwältigung des Widerstandes in den Biegungen nach dem vorigen Paragraphe $= \frac{490 \, v^2}{1000 \cdot 62}$ und wir erhalten die allgemeine Gleichung für diese Röhrenleitung

$$10 = \frac{v^2}{62} + \frac{4 \cdot 6000}{180 \cdot \frac{1}{4}} \left(\frac{v^2}{62} + \frac{v}{100\sqrt{3}}\right) + \frac{490}{1000} \cdot \frac{v^2}{62}$$

oder $1{,}1593 = v^2 + 0{,}3570\, v$, woraus $v = 0{,}91$ Fuss folgt. Demnach beträgt die Wassermenge in 1 Sekunde $M = \frac{11}{14}\left(\frac{1}{4}\right)^2 \cdot 0{,}91 = 0{,}0447$ und die Wassermenge in 1 Stunde $= 160{,}9$ Kubikfuss. Der Verlust am Gefälle, welcher wegen der Uiberwältigung der Widerstände in den Biegungen entsteht, beträgt hier $\frac{\gamma}{1000} \cdot \frac{v^2}{4g} = \frac{490}{1000} \cdot \frac{(0{,}91)^2}{62} = 0{,}007$ Fuss und ist demnach im Verhältnisse der andern Widerstände nur sehr unbedeutend.

2tes Beispiel. Eine Fabriksunternehmung benöthigt in einer Stunde 900 Kubikfuss Wasser, welches aus einem 500 Klafter entfernten Teiche zugeleitet werden soll. Das Gefälle von der Oberfläche des Teiches bis zur Ausflussöffnung des Wassers aus

der Röhrenleitung beträgt nach dem vorgenommenen Nivellement 12 Fuss; es fragt sich, wie gross der Durchmesser der Röhrenleitung angenommen werden müsse, um die geforderte Wassermenge richtig abzuführen. Fig. 15. Tab. 47.

In diesem Falle ist $h = 12$ Fuss, $l = 500$ Klafter $= 3000$ Fuss, $M = \frac{900}{3600} = \frac{1}{4}$ Kubikfuss. Die Summe der Biegungswinkel der ganzen Röhrenleitung wollen wir der vorgenommenen Abmessung zu Folge $\gamma = 400^\circ$ setzen. Wir erhalten demnach folgende 2 Gleichungen $\frac{11}{14}\, d^2 . v = \frac{1}{4}$ und $h = 12 = \frac{v^2}{62} + \frac{4 . 3000}{180\ d}\left(\frac{v^2}{62} + \frac{v}{100\sqrt{d}}\right) + \frac{400}{1000} \cdot \frac{v^2}{62}$.

Werden hier verschiedene Werthe für d angenommen, hieraus v bestimmt und nun der Werth für h berechnet, so erhält man nachstehende Resultate:

Angenommener Werth von d.	Berechneter Werth von	
	v.	h.
4 Zoll $= \frac{1}{3}$ Fuss	2,86 Fuss	$0{,}13 + 29{,}25 + 0{,}05 = 29{,}43$ Fuss
4,8 „ $= 0{,}4$ „	1,99 „	$0{,}06 + 12{,}16 + 0{,}03 = 12{,}25$ „
5 „ $= \frac{5}{12}$ „	1,83 „	$0{,}05 + 9{,}95 + 0{,}02 = 10{,}02$ „

Um hieraus den genauen Werth zu finden, haben wir die Proporzion: die Differenz von $12{,}25 - 10{,}02 = 2{,}23$ wird durch eine Aenderung im Durchmesser von $5 - 4{,}8 = 0{,}2$ Zoll bewirkt, um wie viel muss daher derselbe Durchmesser von 4,8 Zoll vermehrt werden, um die Differenz $12{,}25 - 12{,}00 = 0{,}25$ zu bewirken, oder $12{,}25 - 10{,}02 : 5 - 4{,}8 = 12{,}25 - 12{,}00 : x$, woraus $x = 0{,}02$ Zoll, und demnach der Durchmesser der Röhrenleitung $d = 4{,}8$ Zoll $+ 0{,}02 = 4{,}82$ Zoll folgt. Dass diess der richtige Durchmesser sey, ersieht man aus der Substituzion in obige zwei Gleichungen; denn es folgt aus der ersten $\frac{11}{14}\left(\frac{4{,}82}{12}\right)^2 \cdot v = \frac{1}{4}$, die Geschwindigkeit $v = 1{,}97$ Fuss, und aus der zweiten Gleichung die Druckhöhe $h = 11{,}97$ Fuss.

§. 149.

Wir haben bereits früher angeführt, dass sich in den bisherigen mechanischen Schriften nur wenige Versuche vorfinden, worin bei grossen Röhrenleitungen die Werthe für h, l, d, v und M genau verzeichnet erscheinen.

Die Ursache hiervon liegt offenbar in der Schwierigkeit, bei Röhren mit grossem Durchmesser die Wassermenge, welche sie in einer bestimmten Zeit geben, mit Verlässigkeit zu bestimmen; hierzu würde das Auffangen der ausgeflossenen Wassermenge während einigen Minuten wenigstens erfordert, wozu jedoch bei grossen Röhrenleitungen gewöhnlich die genauen Vorrichtungen fehlen. Wir haben demnach bei der

Ableitung unserer Formel nur einige Erfahrungen von *Couplet* mit 5 zölligen Röhren, und dagegen weit mehr mit grosser Genauigkeit angestellte Erfahrungen mit Röhren von kleinen Durchmessern benützt. Diese Röhren waren entweder mit der grösstmöglichen Genauigkeit zusammengefügt, oder bestanden, wie es bei gläsernen Röhren der Fall war, bloss aus einem Stücke, welches sehr genau kalibrirt wurde. In dieser Hinsicht haben wir bereits erinnert, dass die Resultate unserer Formel nur das Minimum des Widerstandes angeben, welcher bei einer bestimmten Röhrenleitung Statt finden kann, und dass sonach bei minder vollkommen zusammengefügten Röhren, bei eingetretenen Verschlämmungen oder bei andern zufällig vorhandenen Hindernissen die Widerstände zunehmen, und demnach auch die zur Uiberwältigung derselben erforderliche Druckhöhe vermehrt werden müsse.

Wir wollen nun unter diesen Voraussetzungen die Ergebnisse einiger grösseren Erfahrungen mit unserer §. 134 aufgestellten Formel vergleichen.

du Buat führt in seinen „*Principes d'Hydraulique*" eine von *Couplet* im Grossen angestellte Erfahrung an. Der Durchmesser der Röhrenleitung betrug im Lichten gemessen 18 par. Zoll, die Länge derselben 3600 Fuss = 43200 par. Zoll, die Druckhöhe 145,083 par. Zoll, die Röhrenleitung war gerade und die beobachtete Geschwindigkeit des Wassers war 39,159 par. Zoll. Werden diese Werthe in unsere Formel substituirt, und hieraus h berechnet, so ist

$$h = \frac{(39{,}159)^2}{724{,}7} + \frac{4\,.\,43200}{180\,.\,18}\left(\frac{(39{,}159)^2}{724{,}7} + \frac{39{,}159}{100\sqrt{18}}\right) = 2{,}116 + 112{,}953 + 4{,}923 = 119{,}992 \text{ Zoll,}$$

wogegen die erforderliche Druckhöhe h = 145,083 Zoll, demnach beiläufig um den 6[ten] Theil grösser war.

In der Maschinenlehre von *Erich Nordwall*, aus dem Schwedischen übersetzt von *Blumhof*, Berlin 1804, wird in der 2[ten] Abtheilung des ersten Bandes Seite 63 folgender Versuch angeführt: Bei dem König A d o l p h F r i e d r i c h s Göpel wird das Wasser von dem sogenannten obern *Tallbacks* Teiche oder *Reservoir* unterhalb des Kronteichs, durch eine beinahe 438 Ellen lange und 7 Zoll weite Röhrenfahrt A H B C auf das Kunst-
Fig. 16. rad geleitet. Die erste Abtheilung A H dieser Röhrenfahrt, von 120 Ellen Länge ist un-
Tab. 47. gefähr 10 Grad, die zweite H B von 300 Ellen Länge, 3 Grad unter dem Horizont geneigt, und die dritte B C von $17^3/_4$ Ellen steht beinahe lothrecht. *Nordwall* fand die bei C ausfliessende Wassermenge = 112 Kub. Fuss per Minute, wobei die Röhrenmündung in A gehörig erweitert war und die Oeffnung bei C, 25 Fuss unter dem Wasserspiegel im Teiche lag. — In diesem Falle ist daher, weil 1 schwedische Elle = 24 schwed. Zoll, die Länge der Röhrenleitung l = 10506 schwed. Zoll, der Durchmesser d = 7 Zoll, die Druckhöhe h = 300 Zoll, die Geschwindigkeit des Wassers $v = \frac{112\,.\,1728}{{}^{11}/_{14}\,.\,7\,.\,7\,.\,60} = 83{,}78$ Zoll, und die Biegungswinkel $\gamma = 103^\circ$. Zur Substituzion in unserer Formel müssen wir nach *Nordwall* g = 16 schwed. Fuss setzen, und erhalten demnach

$$h = \frac{(83{,}78)^2}{4\,.\,16\,.\,12} + \frac{4\,.\,10506}{180\,.\,7}\left(\frac{(83{,}78)^2}{4\,.\,16\,.\,12} + \frac{83{,}78}{100\sqrt{7}}\right) + \frac{103}{1000}\,.\,\frac{(83{,}78)^2}{4\,.\,16\,.\,12} \text{ oder}$$

h = 9,14 + 315,38 + 0,94 = 325,46 Zoll, wogegen die von *Nordwall* angegebene Druckhöhe von 300 Zoll beiläufig um den 12[ten] Theil kleiner ist.

Bei diesen zwei im Grossen angestellten Erfahrungen war daher die Druckhöhe im ersten Falle um $\frac{1}{6}$ grösser, im zweiten um $\frac{1}{12}$ kleiner, als sie nach der Berechnung aus unserer Formel folgt. Da jedoch bei so bedeutenden Wassermengen die genaue Messung derselben sehr schwierig ist, überdiess auch die oben genannten Gebrechen bei den Zusammenfügungen der Röhren u. s. w. vorhanden seyn konnten, so dürfte man keinen Anstand nehmen, die Resultate unserer Berechnung als richtig anzusehen.

§. 150.

Wenn das Wasser durch mehrere Röhren von verschiedenen Durchmessern geleitet wird, so tritt bei dem Einströmen desselben in eine jede neue Röhrenleitung (von andern Durchmesser) derselbe Fall ein, welchen wir bereits §. 104 erklärt haben. Ist die folgende Röhre D E E′ D′ enger als die vorhergehende B C C′ B′, so erfolgt eine Zusammenziehung des Wasserstrahls, welche sich nach dem Verhältniss der beiden Durchmesser richtet; ist nämlich der Durchmesser oder die Oeffnung D D′ der nächstfolgenden Röhre viel kleiner als der Durchmesser der vorhergehenden Röhre, so verhält sich die Querschnittsfläche des zusammengezogenen Wasserstrahles zur Querschnittsfläche der Oeffnung wie 62 : 100, mithin beträgt der Durchmesser des zusammengezogenen Wasserstrahles $dd' = 0{,}787\, DD'$. Sind aber die Durchmesser der beiden Röhren einander gleich, oder $DD' = CC'$, so findet keine Zusammenziehung Statt. In andern Fällen, wo die Durchmesser nur wenig verschieden sind, wird auch die Zusammenziehung weniger betragen, und der Zusammenziehungskoeffizient der Einheit näher kommen. Die Rechnung für die Geschwindigkeit des Wassers in beiden nächstfolgenden Röhren wird noch verwickelter, wenn hierbei zugleich der Widerstand der Röhrenwände berücksichtigt werden soll. Da jedoch diese Rechnung bei der Frage über die **Vertheilung des Wassers in Städten**, wo dasselbe aus einem gemeinschaftlichen Behälter oder aus einer Hauptröhre mehreren Parteyen zugeführt werden soll, höchst wichtig ist, so wollen wir zur Erleichterung derselben annehmen, dass bei jeder Zusammensetzung entweder mittelst eines der Zusammenziehung proporzionalen Trichters oder auf andere Art dafür gesorgt worden, dass die Röhren durchaus voll fliessen. Fig. 17. Tab. 47.

§. 151.

Als **Beispiel** wollen wir annehmen, dass das Wasser aus einer Hauptröhre in zwei Seitenröhren getheilt werden soll, dass alle diese Röhren horizontal in gerader Richtung liegen und dass die Druckhöhe in der Hauptröhre und für beide folgende Röhren $= h = 120$ Fuss sey. Der Durchmesser der Hauptröhre sey $D = 4$ Zoll $= \frac{1}{3}$ Fuss, die Länge derselben vom Behälter bis zu der Theilung des Wassers $AB = L = 1200$ Fuss. Die Seitenröhre B C habe die Länge $l = 600$ Fuss und den Durchmesser $d = 3$ Zoll. Die andere Seitenröhre B D habe dagegen die Länge $\lambda = 900$ Fuss und den Durchmesser $\delta = 2$ Zoll. Es fragt sich, mit welcher Geschwindigkeit das Wasser sowohl in der Hauptröhre als in den beiden Seitenröhren fliessen und wie viel Wasser am Ende jeder Seitenröhre ausfliessen werde. Fig. 18.

Da das Wasser in einer jeden der angeführten Röhren bei der vorhandenen Druckhöhe von 120 Fuss mit einer bedeutenden Geschwindigkeit fliessen wird, so können wir nach

§. 142 denjenigen Theil des Widerstandes, welcher von der ersten Potenz der Geschwindigkeit abhängt, vernachlässigen. Weil aber das Gefälle der Hauptröhre nicht nur den Widerstand an den Wänden derselben Röhre überwältigen, sondern auch die Bewegung in den Seitenröhren hervorbringen muss, so haben wir am Theilungspunkte B der beiden Röhren die Druckhöhe $h - \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{L}{45D}$, und weil diese Druckhöhe für beide Seitenröhren gemeinschaftlich ist, so haben wir

$h - \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{L}{45D} = \frac{c^2}{4g}\left(1 + \frac{l}{45d}\right) = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{\lambda}{45\delta}\right)$, wo nämlich c die Geschwindigkeit in der ersten und v die Geschwindigkeit in der zweiten Seitenröhre vorstellt.

Die Wassermenge, welche die erste Seitenröhre in jeder Sekunde gibt, ist offenbar $= \frac{\pi . d^2 . c}{4}$, und jene der zweiten Seitenröhre $= \frac{\pi . \delta^2 . v}{4}$; weil aber beide Seitenröhren von der Hauptröhre gespeiset werden, so haben wir

$\frac{\pi . D^2 . C}{4} = \frac{\pi . d^2 . c}{4} + \frac{\pi . \delta^2 . v}{4}$. Wir haben sonach zur Bestimmung der drei Geschwindigkeiten C, c und v auch drei Gleichungen, nämlich

$4g . h - C^2 \cdot \frac{L}{45D} = c^2\left(1 + \frac{l}{45d}\right) = v^2\left(1 + \frac{\lambda}{45\delta}\right)$ und $D^2 . C = d^2 . c + \delta^2 . v$.

In diesen drei Gleichungen kommen 10 Grössen, nämlich h, L, C, D dann c, l, d und v, λ, δ vor; wenn daher sieben hiervon gegeben sind, kann man die drei andern berechnen. Setzen wir die in unserem Beispiele angenommenen Werthe in diese Gleichungen, so ist $4 . 15{,}5 . 120 - C^2 \cdot \frac{1200 . 3}{45} = c^2\left(1 + \frac{600 . 4}{45}\right) = v^2\left(1 + \frac{900 . 6}{45}\right)$ und $\frac{1}{9} C = \frac{1}{16} c + \frac{1}{36} v$, oder $7440 - 80 C^2 = 54\frac{1}{3} c^2 = 121 v^2$ (I) und $16 C = 9c + 4v$ (II).

Aus den beiden letzten Gliedern der Gleichung I folgt $v = c\sqrt{\frac{54{,}333}{121}} = 0{,}6701\, c$.

Setzen wir diesen Werth in die Gleichung II, so erhalten wir $16 C = c\,(9 + 4 . 0{,}6701)$ und $C = 0{,}7300\, c$. Wird dieser Werth in die beiden ersten Glieder der Gleichung I gesetzt, so findet man $7440 - 80\,(0{,}7300)^2 . c^2 = 54\frac{1}{3} c^2$, woraus $c = \sqrt{\frac{7440}{96{,}965}} = 8{,}759$ Fuss. Demnach ist $C = 0{,}7300\, c = 6{,}394$ Fuss und $v = 0{,}6701\, c = 5{,}869$ Fuss.

Hiernach ergibt sich nun die Wassermenge, welche am Ende der einen Röhre in 1 Sekunde ausfliesst $= \frac{\pi . d^2 . c}{4} = \frac{11}{14} \cdot \frac{1}{16} \cdot 8{,}759 = 0{,}430$ Kubikfuss, und jene bei der andern Seitenröhre $\frac{\pi . \delta^2 . v}{4} = \frac{11}{14} \cdot \frac{1}{36} \cdot 5{,}869 = 0{,}128$ Kubikfuss, endlich die Wassermenge, welche in jeder Sekunde in der Hauptröhre zufliesst $= \frac{\pi . D^2 . C}{4} = \frac{11}{14} \cdot \frac{1}{9} \cdot 6{,}394 = 0{,}558$ Kubik-Fuss oder eben so viel, als aus den beiden Seitenröhren ausfliesst.

§. 152.

Im vorigen Beispiele haben wir den Fall angenommen, wo die Röhrenleitung bereits angelegt ist, und die Wassermenge, welche dieselbe gibt, gesucht wird. In

den meisten Fällen ist aber die Wassermenge, welche jede Nebenröhre liefern soll, gegeben, und es handelt sich, den Durchmesser dieser Röhren zu bestimmen, um darnach die Anlage einzurichten.

Beispiel. Es sey die Druckhöhe abermals $h = 120$ Fuss, die Länge der Hauptröhre $L = 1200$ Fuss und der Durchmesser derselben $D = 4$ Zoll $= \frac{1}{3}$ Fuss. Die Länge der ersten Seitenröhre sey $l = 600$ Fuss und jene der zweiten $\lambda = 900$ Fuss. Die erste Seitenröhre soll in der Sekunde ein Viertel und die zweite ein Sechstel Kubikfuss Wasser geben. Die ganze Röhrenleitung wird horizontal in gerader Richtung angelegt; es fragt sich, wie gross die Durchmesser d und δ anzunehmen seyen.

Werden die gegebenen Werthe in die im vorigen §. aufgestellten Gleichungen substituirt, so erhalten wir

$$7440 - C^2 \cdot \frac{1200 \cdot 3}{45} = c^2\left(1 + \frac{600}{45\,d}\right) = v^2\left(1 + \frac{900}{45\,\delta}\right) \text{ (I und II)}$$

$\frac{11}{14} \cdot \frac{1}{9} \cdot C = \frac{10}{24}$ (III), $\frac{11}{14} \cdot d^2 \cdot c = \frac{1}{4}$ (IV) und $\frac{11}{14} \cdot \delta^2 \cdot v = \frac{1}{6}$ (V). Um aus diesen 5 Gleichungen eben so viele darin vorkommende unbekannte Grössen zu bestimmen, suchen wir zuerst aus III den Werth von C; dieser ist $C = 4{,}77$ Fuss. Wird diess substituirt, so folgt $5620 = c^2\left(1 + \frac{40}{3\,d}\right) = v^2\left(1 + \frac{20}{\delta}\right)$, ferner $d^2 \cdot c = \frac{7}{22}$ und $\delta^2 \cdot v = \frac{7}{33}$. Hieraus finden wir durch abermalige Substituzion $55512\, d^5 = d + \frac{40}{3}$ und $124902\, \delta^5 = \delta + 20$.

In diesen 2 Gleichungen ist d und δ in Fussen ausgedrückt; da aber beide Werthe Brüche geben, so ist es besser, diese Gleichungen auf Zollmass zu übersetzen; wenn wir daher das erste Glied mit 12^5 und das zweite mit 12 dividiren, so erhalten wir $\frac{55512 \cdot d^5}{12^5} = \frac{d}{12} + \frac{40}{3}$ (A) und $\frac{124902\,\delta^5}{12^5} = \frac{\delta}{12} + 20$ (B), worin nun d und δ in Zollen zu suchen sind. Da $\frac{d}{12}$ und $\frac{\delta}{12}$ gegen die 5te Potenz dieser Grössen vernachlässigt werden können, so erhalten wir für eine beiläufige Bestimmung

$d = 12\sqrt[5]{\frac{40}{3 \cdot 55512}} = 2{,}27$ Zoll und $\delta = 12\sqrt[5]{\frac{20}{124902}} = 2{,}09$ Zoll. Hiervon gibt der erste Werth, wenn er in die Gleichung A substituirt wird, $13{,}45 - 0{,}19 = 13{,}26$ statt $\frac{40}{3} = 13{,}33$. Wird der zweite Werth in die Gleichung B substituirt, so erhält man $20{,}02 - 0{,}17 = 19{,}85$ statt 20, welche Werthe für die Ausübung hinlänglich genau berechnet sind.

Werden diese Werthe in die Gleichungen IV und V substituirt, so folgt die Geschwindigkeit, womit das Wasser in der ersten Seitenröhre fliessen wird

$c = \frac{14}{4 \cdot 11}\left(\frac{12}{2{,}27}\right)^2 = 8{,}89$ Fuss, und die Geschwindigkeit des Wassers in der zweiten Seitenröhre $v = \frac{14}{11 \cdot 6}\left(\frac{12}{2{,}09}\right)^2 = 6{,}99$ Fuss.

In der Ausübung wird es zweckdienlich seyn, die gefundenen Dimensionen von d und δ etwas zu verstärken, indem unsere Berechnung nur jene Werthe gibt, welche

einer Röhrenleitung entsprechen, die vollkommen zusammengefügt, nicht verschlämmt ist, und wobei kein anderes Hinderniss als der Widerstand an den Wänden vorkommt. In dieser Hinsicht kann man in unserem Falle für d wenigstens 2,3 und δ mit 2,1 Zoll im Lichten der Röhren annehmen.

§. 153.

Die meisten Wasserleitungen liegen an Flüssen, wo das Wasser durch ein vereinigtes Saug- und Druckwerk mittelst unterschlächtiger Räder (wovon wir später umständlich sprechen werden) in ein Hauptbehältniss oder Reservoir gehoben wird. Diese Behältnisse liegen häufig 20 bis 30 und mehr Klafter über der Oberfläche des Wasserspiegels in dem sogenannten Wasserthurme (Wasserschloss), und es wird von demselben aus das Wasser gewöhnlich durch eine hinlänglich weite Hauptröhre in die Stadt oder jenen Stadttheil geleitet, welcher von diesem Reservoir mit Wasser versehen werden soll. Da man sich gegenwärtig bei solchen Anlagen gewöhnlich gusseiserner Röhren bedient, deren Anschaffung immer bedeutende Kosten verursacht, so wird es jederzeit darauf ankommen, den Durchmesser der Wasserleitungsröhren entsprechend zu wählen. Es wäre in dieser Hinsicht zu kostspielig und unzweckmässig, wenn man die Hauptröhre von dem Reservoir aus mit gleichem Durchmesser bis an das Ende der Stadt oder bis zur letzten Ausflussöffnung führen und überhaupt den Ausfluss des Wassers nur dadurch reguliren wollte, dass man die an der Hauptröhre bei jeder Nebenleitung angebrachten Hähne (Pipen) mehr und minder öffnen oder schliessen wollte. Es ist in diesem Falle zweckmässiger, das Wasser
Fig. 19. Tab. 47. aus dem Reservoir A durch eine hinlänglich weite Hauptröhre zuerst in einen, an dem höchsten Orte der Stadt gelegenen Behälter B zu leiten und aus diesem durch zwei oder mehrere Seitenröhren den, für jeden Theil der Stadt besonders bemessenen Wasserbedarf fortzuführen. Diese Seitenröhren werden dann nur den, ihrer Wassermenge entsprechenden Durchmesser erhalten, und die ganze Anlage wird weit wohlfeiler zu Stand kommen, als wenn man mit dem gleichen Durchmesser der Hauptröhre das Wasser in alle Stadttheile geleitet hätte. Es handelt sich daher, die Grösse der Durchmesser sowohl für die Hauptröhre als für die Seitenröhren in einem jeden gegebenen Falle zu berechnen.

Zu diesem Behufe sey L die Länge der Hauptröhre A B, nämlich die Länge des vertikalen Stückes vom Reservoir A bis zum Boden herab und die Länge der unten fortgeführten Leitung bis zum gemeinschaftlichen Behälter B; das Gefälle von der Oberfläche des Wassers im Reservoir A bis zur Oberfläche im Behälter B sey = H; der Durchmesser dieser Hauptröhre = D und die Geschwindigkeit des Wassers innerhalb derselben = C, endlich die ganze Wassermenge, welche dem gemeinschaftlichen Behälter B zugeführt werden soll = M.

Für die erste Seitenröhre B F sey die Länge = l, das Gefälle vom Behälter bis zur Ausflussöffnung bei F = h, der Durchmesser der Röhrenleitung = d, die Geschwindigkeit des Wassers = c und die Wassermenge, welche abgeführt werden soll = m.

Für die zweite Seitenröhre B G sey die Länge = l', das Gefälle = h', der Durchmesser = d', die Geschwindigkeit = c' und die abzuführende Wassermenge = m'.

Für die dritte Seitenröhre B E sey die Länge l'', das Gefälle $= h''$, der Durchmesser $= d''$, die Geschwindigkeit des Wassers $= c''$, und die abzuführende Wassermenge $= m''$; u. s. w. Fig. 19. Tab. 47.

Es leuchtet von selbst ein, dass die Wassermenge, welche in der Hauptröhre fortgeleitet wird, der Summe der Wassermengen aller Seitenröhren gleich seyn muss; demnach haben wir $M = m + m' + m''$. Für die Bewegung des Wassers in der Hauptröhre ist $H = \frac{C^2}{4g}\left(1 + \frac{L}{45\,D}\right)$, wenn nämlich der Theil des Widerstandes, welcher von der ersten Potenz der Geschwindigkeit abhängt, vernachlässigt wird. Die Wassermenge, welche in einer Sekunde in der Hauptröhre fortgeführt wird, ist $M = \frac{\pi . D^2 . C}{4}$, woraus $C = \frac{4M}{\pi . D^2}$ und daher $C^2 = \left(\frac{4M}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{1}{D^4}$. Wird dieser Werth in die obige Gleichung gesetzt, so erhalten wir $4g . H = \left(\frac{4M}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{1}{D^4} \cdot \frac{L}{45\,D}\left(\frac{45\,D}{L} + 1\right)$, und weil $\frac{45\,D}{L}$ als ein sehr kleiner Bruch gegen 1 vernachlässigt werden kann, so folgt $D^5 = \left(\frac{4M}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{L}{180\,g . H}$.

Dieselbe Berechnung findet bei dem Ausflusse des Wassers aus dem Behälter B in eine jede von den Seitenröhren Statt, indem das Wasser in den Seitenröhren hier lediglich durch die Druckhöhe oder den Wasserstand im gemeinschaftlichen Behälter B seine Bewegung erhält. Wir erhalten demnach auf gleiche Art für die erste Seitenröhre BF die Gleichung $d^5 = \left(\frac{4m}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{1}{180\,g . h}$. Wenn wir die vorige Gleichung mit dieser dividiren, so ergibt sich für das Verhältniss des Durchmessers der Hauptröhre zum Durchmesser der ersten Seitenröhre die Gleichung $\left(\frac{D}{d}\right)^5 = \left(\frac{M}{m}\right)^2 \cdot \frac{L}{l} \cdot \frac{h}{H}$. Auf gleiche Art folgt für die zweite Seitenröhre $\left(\frac{D}{d'}\right)^5 = \left(\frac{M}{m'}\right)^2 \cdot \frac{L}{l'} \cdot \frac{h'}{H}$, und auf gleiche Art ergeben sich nun auch die anderen Gleichungen für alle an dem gemeinsamen Behälter angebrachten Seitenröhren. Erhalten diese Röhren die berechneten Durchmesser, so werden sie die geforderte Wassermenge für jeden Stadttheil richtig abliefern, und es wird sonach die ganze Anlage mit den geringsten Kosten ausgeführt seyn.

§. 154.

Beispiel. Es seyen an dem gemeinsamen Behälter B drei Seitenröhren angebracht, wovon die erste bei F in 24 Stunden die Wassermenge von 4800 Kub. Fuss, die zweite bei G in gleicher Zeit 9600 Kub. Fuss, und die dritte bei E in derselben Zeit 14400 Kub. Fuss Wasser geben soll; die Länge der Hauptröhrenleitung sey $L = 3000$ Fuss, und ihr Gefälle $H = 100$ Fuss.

Hieraus ergibt sich die Wassermenge in 1 Sekunde $m = \frac{1}{18}$ Kub. Fuss, $m' = \frac{2}{18}$ Kub. Fuss, $m'' = \frac{3}{18}$ Kub. Fuss, demnach $M = \frac{1}{3}$ Kub. Fuss. Die Grösse des Durchmessers der Hauptröhrenleitung AB vom *Reservoir* A bis zum Behälter B ergibt sich aus der Gleichung $D^5 = \left(\frac{4M}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{L}{180\,g . H} = \left(\frac{4}{3 . 3{,}14159}\right)^2 \cdot \frac{3000}{180 . 15{,}5 . 100}$, woraus

$D = 0{,}2967$ Fuss $= 3{,}44$ Zoll folgt. Weil sich aber bei solchen Röhrenleitungen die genaue Zusammensetzung nicht verbürgen lässt, und wir in dieser Hinsicht schon früher bemerkt haben, dass man den Durchmesser der Röhren um etwas vermehren müsse, so wollen wir $D = 4$ Zoll $= \frac{1}{3}$ Fuss setzen und das Verhältniss der übrigen Durchmesser darnach berechnen.

Es seyen die Gefälle der einzelnen Röhrenleitungen oder die Höhenunterschiede vom Wasserspiegel im Behälter B bis zu den Ausflussöffnungen am Ende der Seitenröhren bei F, G und E, nämlich $h = 6$ Fuss, $h' = 8$ Fuss und $h'' = 12$ Fuss, die Längen der Röhrenleitungen $l = 600$ Fuss, $l' = 1000$ Fuss und $l'' = 800$ Fuss, so ergeben sich nach dem vorigen §. folgende Gleichungen zur Bestimmung der Durchmesser der Seitenröhren

für die 1te Seitenröhre $\left(\frac{D}{d}\right)^5 = \left(\frac{18}{3}\right)^2 \cdot \frac{3000}{600} \cdot \frac{6}{100}$ und $\frac{D}{d} = 1{,}609$.

für die 2te Seitenröhre $\left(\frac{D}{d'}\right)^5 = \left(\frac{18}{3.2}\right)^2 \cdot \frac{3000}{1000} \cdot \frac{8}{100}$ und $\frac{D}{d'} = 1{,}167$.

für die 3te Seitenröhre $\left(\frac{D}{d''}\right)^5 = \left(\frac{18}{3.3}\right)^2 \cdot \frac{3000}{800} \cdot \frac{12}{100}$ und $\frac{D}{d''} = 1{,}125$.

Wird jetzt der Werth von D mit 4 Zoll angenommen, so ergeben sich die Durchmesser sämmtlicher Seitenröhren $d = 2{,}5$ Zoll, $d' = 3{,}4$ Zoll, und $d'' = 3{,}6$ Zoll.

§. 155.

Wir haben bereits §. 102 angeführt, dass die Höhe, auf welche ein aufwärts gerichteter Wasserstrahl steigt, der Fallhöhe $\frac{c^2}{4g}$ gleichkommt, von welcher nämlich die schweren Körper bei dem freien Falle die Geschwindigkeit c erlangen. Weil aber die Geschwindigkeit des Wassers in Röhren von dem Widerstande der Röhrenwände verzögert und sonach von der Gleichung $h = \frac{c^2}{4g}\left(1 + \frac{l}{45\,d}\right)$ bestimmt wird, so haben wir für den Fall, wenn das Ende einer Röhrenleitung senkrecht aufwärts gebogen wird, für die Sprunghöhe die Gleichung $\frac{c^2}{4g} = \frac{h}{1 + \frac{l}{45\,d}}$. Hieraus ergibt sich, dass die **Sprunghöhe** von der Fall- oder Druckhöhe des Wassers sehr verschieden sey, wenn das Verhältniss $\frac{l}{45\,d}$ eine bedeutende oder eine solche Grösse erhält, welche gegen die Einheit nicht vernachlässigt werden kann. Wenn nämlich die Länge der Röhre l dem 45fachen Durchmesser d gleich ist, so beträgt die Sprunghöhe nur $\frac{h}{2}$. Sie wird noch kleiner, wenn l grösser als 45 d ist, und sie kann der Fallhöhe nur dann gleich kommen, wenn $\frac{l}{d} = 0$ ist, d. h. wenn die Länge der Röhre, durch welche das Wasser aus dem Behälter zufliesst, $= 0$ ist.

Bei dieser Berechnung haben wir angenommen, dass die Geschwindigkeit c des Wassers nur einige Fuss beträgt, und dass sonach der Theil des Widerstandes, welcher

von der einfachen Geschwindigkeit abhängt, vernachlässigt werden kann. Für eine genauere Rechnung ergibt sich daher die Sprunghöhe aus der Gleichung mit Rücksicht auf die Widerstände in Biegungen

$$h=\frac{c^2}{4g}+\frac{l}{45\,d}\left(\frac{c^2}{4g}+\frac{c}{100\sqrt{d}}\right)+\frac{c^2}{4g}\cdot\frac{\gamma}{1000}=\frac{c^2}{4g}\left(1+\frac{l}{45\,d}+\frac{4gl}{45.100.c.d.\sqrt{d}}+\frac{\gamma}{1000}\right),$$

woraus die Sprunghöhe, welche wir mit z bezeichnen wollen,

$$z=\frac{c^2}{4g}=\frac{h}{1+\frac{l}{45\,d}+\frac{4gl}{45.100.c.d.\sqrt{d}}+\frac{\gamma}{1000}}$$

folgt. Für den Fall, wenn l und γ unbedeutende Grössen sind, können wir $c=2\sqrt{g.h}$ setzen, und erhalten dann für die Berechnung der Sprunghöhe die Gleichung $z=\frac{c^2}{4g}=\frac{h}{1+\frac{l}{45\,d}+\frac{2l}{4500.d}\sqrt{\frac{g}{d.h}}+\frac{\gamma}{1000}}$.

Dieser Ausdruck dürfte zur Erklärung jener Unterschiede hinreichen, welche *Mariotte* und andere Physiker bei Versuchen über die Höhe der springenden Strahlen und ihrer Vergleichung mit der Gefällshöhe gefunden haben. Da *Mariotte* die zu einer genauen Berechnung nöthigen Maasse der Zuleitungsröhren nicht angegeben hat und wir uns nicht erlauben dürfen, seine übrigens sehr schätzbaren Erfahrungen durch willkührliche Zusätze zu ergänzen, so müssen wir bloss bei dieser allgemeinen Bemerkung stehen bleiben.

§. 156.

Da der Widerstand der Röhrenwände hauptsächlich von dem Verhältnisse $\frac{l}{d}$ abhängt und die Zuleitungsröhren öfters sehr lang gemacht werden müssen, so pflegt man den Durchmesser d der Zuleitungsröhre grösser als die Ausflussöffnung zu machen und zur Erzielung einer grossen Sprunghöhe für die Ausflussmündung nur eine kurze Ansatzröhre anzubringen, oder wo es sich thun lässt, den Strahl bloss aus einer dünnen horizontalen Platte ausströmen zu lassen. Da hierbei die §. 105 angeführte Zusammenziehung des ausfliessenden Wasserstrahles Statt findet, so wollen wir den Durchmesser der Ausflussmündung $=\delta$ und die Geschwindigkeit des Ausflusses $=c$ setzen. Hiernach ist die in einer Sekunde ausfliessende Wassermenge $=\frac{m.\pi.\delta^2.c}{4}$. Weil durch jeden Querschnitt der Röhre dieselbe Wassermenge in einer Sekunde fliessen muss, so haben wir $\frac{m.\pi.\delta^2.c}{4}=\frac{\pi.d^2.v}{4}$. Hieraus folgt die Geschwindigkeit in der Zuleitungsröhre $v=\frac{m.\delta^2.c}{d^2}$. Setzen wir nun die Sprunghöhe $=\frac{c^2}{4g}=z$, so erhalten wir für die Bewegung des Wassers die allgemeine Gleichung $h=\frac{c^2}{4g}+\frac{l}{45\,d}\cdot\frac{m^2.\delta^4}{d^4}\cdot\frac{c^2}{4g}+\frac{\gamma}{1000}\cdot\frac{m^2.\delta^4}{d^4}\cdot\frac{c^2}{4g}$. Hierbei wurde jener Theil des Widerstandes, der von der ersten Potenz der Geschwindigkeit abhängt, vernachlässigt, welches hier um so mehr geschehen kann, weil man grössere Sprunghöhen verlangt, demnach auch das Wasser in der Zuleitungsröhre immer mit einer Geschwindigkeit zu-

fliessen wird, die mehrere Fuss beträgt. Aus der letzten Gleichung folgt die Sprunghöhe des Wasserstrahles $z = \frac{c^2}{4g} = \frac{h}{1 + \frac{m^2 . \delta^4}{d^4}\left(\frac{l}{45\,d} + \frac{\gamma}{1000}\right)}$.

Beispiel. Es sey die Länge der Röhrenleitung $l = 3000$ Fuss, ihr Durchmesser $d = 2$ Zoll, der Durchmesser der Ausflussöffnung $\delta = \frac{1}{2}$ Zoll, also $\frac{\delta}{d} = \frac{1}{4}$, der Zusammenziehungskoeffizient nach Seite 158, $m = 0{,}619$, die Summe aller bei der ganzen Leitung vorkommenden Biegungswinkel $\gamma = 200$ Grad, endlich die ganze Gefällshöhe $h = 5$ Klafter $= 30$ Fuss.

Werden diese Werthe in die vorstehende Gleichung substituirt, so ergibt sich die Höhe des springenden Strahles $z = \frac{30}{1 + (0{,}619)^2 . (\frac{1}{4})^4 \left(\frac{3000}{45 . \frac{1}{6}} + \frac{200}{1000}\right)} = 18{,}8$ Fuss. Ist aber die Oeffnung für den springenden Strahl oder der Durchmesser $\delta = 1$ Zoll, während die übrigen Grössen dieselben bleiben, so ist $\frac{\delta}{d} = \frac{1}{2}$ und man findet nunmehr die Höhe des springenden Strahles $z = \frac{30}{1 + (0{,}619)^2 . (\frac{1}{2})^4 \left(\frac{3000}{45 . \frac{1}{6}} + \frac{200}{1000}\right)} = 2{,}9$ Fuss.

§. 157.

Aus den vorhergehenden Beispielen ersieht man, welchen bedeutenden Einfluss das Verhältniss des Durchmessers der Oeffnung zu dem Durchmesser der Zuleitungsröhren hat, und dass es also nothwendig ist, zur Erzielung einer grossen Sprunghöhe den Durchmesser der Zuleitungsröhren verhältnissmässig grösser zu machen. Die Bestimmung dieses Durchmessers ergibt sich aus der oben angeführten Gleichung. Setzen wir nämlich zur Erleichterung der Rechnung $\gamma = 0$, so erhalten wir aus der obigen Gleichung $d = \delta \sqrt[5]{\frac{m^2 . l}{45\,\delta}\left(\frac{z}{h - z}\right)}$.

Beispiel. Es sey wie oben die Druckhöhe $h = 30$ Fuss, die Länge der Röhrenleitung $l = 3000$ Fuss, der Durchmesser der Ausflussöffnung $\delta = 1$ Zoll $= \frac{1}{12}$ Fuss, $m = 0{,}619$ und die verlangte Sprunghöhe $z = 20$ Fuss, so muss der Durchmesser der Zuleitungsröhre $d = 1''. \sqrt[5]{\frac{(0{,}619)^2 . 3000 . 12}{45}\left(\frac{20}{30 - 20}\right)} = 3{,}6$ Zoll seyn, wofür man zur grösseren Sicherheit 4 Zoll annehmen kann. In diesem Falle ist nun, wenn γ wie im ersten Beispiele $= 200$ Grad beibehalten wird, die zu erwartende Sprunghöhe
$$z = \frac{30}{1 + (0{,}619)^2 . (\frac{1}{4})^4 \left(\frac{3000 . 3}{45} + \frac{200}{1000}\right)} = 23{,}1 \text{ Fuss.}$$

§. 158.

Die angeführte Rechnung ist nicht nur für Wasserleitungen, sondern auch für Feuerspritzen und andere ähnliche Maschinenwerke, bei welchen zwar die Röhren nicht lang, aber zur Verminderung ihres allzu grossen Gewichtes sehr enge gebaut

werden müssen, von der grössten Wichtigkeit. Hierbei ist aber noch zu bemerken, dass die Anwendung einer dünnen Platte Statt einer Ausflussröhre zwar die Sprunghöhe vergrössert, dass jedoch hierdurch der Wasserstrahl bei kleinen Oeffnungen, die zur Erreichung einer grossen Höhe erfordert werden, in der Luft sehr zerstreut wird. Da nun die auf solche Weise zurückfallenden kleinen Tropfen zum Löschen des Feuers ohne Wirkung sind, so wendet man bei Feuerspritzen entweder kurze zylindrische, gewöhnlich aber konische Steig- und Gussröhren an. Die kurzen zylindrischen Ansatzröhren gewähren den Vortheil, dass der Widerstand der Röhrenwände wegen der kurzen Länge l unbedeutend ist. Wir haben jedoch schon früher bemerkt, dass für den Fall, wenn die Länge der Ansatzröhren nicht viel grösser als der Durchmesser der Gussmündung ist, die Röhre zwar von aussen vollfliessen, jedoch wegen der innerhalb derselben Statt findenden Zusammenziehung weniger Wasser geben werde, als wenn das Wasser mit seiner ganzen Geschwindigkeit sie erfüllen würde. In diesem Umstande liegt daher nicht nur der Grund, warum der springende Strahl nicht dieselbe Höhe, wie aus Oeffnungen in einer dünnen Platte erreicht, sondern auch, warum bei ihrer Anwendung der Wasserstrahl nicht so wie bei konischen Röhren zusammengehalten wird, bei welchen die Ungleichheit des obern und untern Durchmessers kein bedeutendes Zusammenlaufen der Theile des Wasserstrahles veranlasst. Herr *Karsten* hat in seiner: „Abhandlung über die vortheilhafteste Anordnung der Feuerspritzen, welche den von der königl. Sozietät der Wissenschaften in *Kopenhagen* auf das Jahr 1771 ausgesetzt gewesenen ersten Preis erhalten hat. Greifswalde, 1773." hierüber bereits bemerkt, dass der ausfliessende Wasserstrahl zwar eine kleinere Zusammenziehung als in dünnen Platten erfährt, dass dieselbe aber nicht ganz unbedeutend sey, und sowohl bei der Berechnung der Höhe des Wasserstrahles, als auch hinsichtlich der Zerstreuung desselben einige Rücksicht verdiene.

Die unter dem Texte beigefügte Rechnung *) zeigt, dass d i e z u r G e w ä l t i-

*) Es sey ABCD der Querschnitt eines konischen Ansatzrohres, der kleinere Halbmesser $MB = b$, der grössere $ND = B$, die Länge desselben $MN = a$, die Geschwindigkeit, mit welcher der Wasserstrahl aus der Oeffnung AB tritt $= c$. Auf der unbestimmten Länge $MO = x$ sey der Halbmesser $OF = y$ und die in EF Statt findende Geschwindigkeit $= v$. Bei der Bewegung des Wassers durch das Element $OP = dx$ der Länge findet das mit der Geschwindigkeit v sich bewegende Wasser einen Widerstand, zu dessen Uiberwindung die Druckhöhe $dh = \frac{dx}{45.2y} \cdot \frac{v^2}{4g}$ nothwendig ist, wenn wir nämlich nur jenen Theil des Widerstandes in Anschlag nehmen, welcher von dem Quadrate der Geschwindigkeit abhängt. Fig. 20. Tab. 47.

Ziehen wir nun zu MN durch B die Parallele Bq, so ist $Op = b$ und

$$\overline{pF} = qD \cdot \frac{pB}{Bq} = (B - b)\frac{x}{a}, \text{ folglich } OF = y = b + (B - b)\frac{x}{a} = b\left\{1 + \left(\frac{B-b}{b}\right)\frac{x}{a}\right\}.$$

Die Wassermenge, welche in jeder Sekunde durch die Oeffnung AB ausfliesst, ist $\pi . b^2 . c$ und jene, welche durch EF fliesst $\pi . y^2 . v$ und weil in gleichen Zeiten durch jeden Querschnitt dieselbe Wassermenge gehen muss, so haben wir $\pi . b^2 . c = \pi . y^2 . v$, woraus die Geschwindigkeit $v = c \cdot \frac{b^2}{y^2}$ folgt. Es ist demnach $\frac{v^2}{y} = c^2 \cdot \frac{b^4}{y^5}$, und demnach

$$dh = \frac{dx . b^4}{90\, y^5} \cdot \frac{c^2}{4g} = \frac{c^2}{90.4g.b} \cdot \frac{dx}{\left\{1 + \left(\frac{B-b}{b}\right)\frac{x}{a}\right\}^5}.$$

Fig. 20. Tab. 47. gung des Reibungswiderstandes bei einem konischen Gussrohre nothwendige Druckhöhe $h = \frac{a}{360 B}\left(1 + \frac{b}{B}\right)\left(1 + \frac{b^2}{B^2}\right)\frac{c^2}{4g}$ sey, wo die Länge dieses Rohres MN = a, der kleinere Halbmesser MB = b, der grössere Halbmesser ND = B und die Geschwindigkeit, mit welcher der Wasserstrahl aus der Oeffnung AB tritt, gleich c ist.

Beispiel. Bei einer Spritzenprobe, mit welcher Herr *Karsten* vorzüglich befriedigt wurde, war der Durchmesser der obern Oeffnung des Gussrohres $2b = 7{,}5$ Linien, der Durchmesser am untern Ende des Rohres $2B = 1{,}5$ Zoll, also $\frac{b}{B} = {}^5/_{12}$, die Länge des Gussrohres $a = 3{,}5$ Fuss = 42 Zoll. Demnach ist die zur Gewältigung des Reibungswiderstandes für dieses Gussrohr nöthige Druckhöhe $h = \frac{42}{360 \cdot {}^3/_4}\left(1 + \frac{5}{12}\right)\left(1 + \frac{25}{144}\right)\frac{c^2}{4g} = 0{,}259 \cdot \frac{c^2}{4g}$, wozu dann noch die Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{4g}$ beizusetzen kommt. Die Summe beider ist daher $H = 1{,}259 \frac{c^2}{4g}$. Hieraus sehen wir, dass bei dieser Spritze wegen der Widerstände im Gussrohre die Kraft beiläufig um den vierten Theil der ganzen Steighöhe vermehrt wird.

§. 159.

Wir haben bereits §. 109 die Vortheile angeführt, welche der Beförderung des Ausflusses dann zukommen, wenn Statt einer kurzen zylindrischen Ansatzröhre der Ausmündung die Gestalt des zusammengezogenen Wasserstrahles innerhalb des Gefässes gegeben, und auf solche Art die Zusammenziehung ausserhalb des Gefässes beseitigt wird. Zu derselben Absicht wurde in der Note, §. 104, Seite 142 bis 144 gezeigt,
Fig. 21. dass die Bögen AEC und BFD des zusammengezogenen Strahles einem Kreise zugehören, dessen Halbmesser $p = {}^3/_2\, CD = 3e$ ist, wenn nämlich ND = e gesetzt wird. Auf gleiche Art fanden wir $MB = \varepsilon = 0{,}787\, e$ und $MN = a = \frac{10\, e}{9}$, woraus $Bq = e - \varepsilon = 0{,}213\, e$ folgt, welche Grösse wir mit β bezeichnen wollen.

Setzen wir nun für den Punkt F die Ordinate $Fm = x$ und $OF = y$, so ist $Bm = y - \varepsilon$, welches wir mit u bezeichnen wollen. Weil aber BFD ein Kreisbogen ist, welcher mit dem Halbmesser p beschrieben wird, so haben wir die bekannte Gleichung $x^2 = (2p - u)\, u$. Da hier die Grösse u gegen den Durchmesser 2p als unbedeutend vernachlässigt werden kann, so ist $u = \frac{x^2}{2p}$. Auf gleiche Art ist $Bq = \beta = \frac{a^2}{2p}$ folglich $\frac{u}{\beta} = \frac{x^2}{a^2}$ und $y = \varepsilon + u = \varepsilon\left(1 + \frac{\beta \cdot x^2}{\varepsilon \cdot a^2}\right)$.

Weil mit der Länge x die zugehörige Widerstandshöhe h zugleich verschwindet, so ist das vollständige Integral dieser Gleichung $h = \frac{c^2 \cdot a}{4 \cdot 90 \cdot 4g\,(B - b)}\left\{1 - \frac{1}{\left\{1 + \left(\frac{B - b}{b}\right)\frac{x}{a}\right\}^4}\right\}$.

Nehmen wir dieses Integral für die ganze Länge des Gussrohres oder für x = a, so ist

$$h = \frac{a}{360\,(B - b)} \cdot \frac{c^2}{4g}\left\{1 - \frac{b^4}{B^4}\right\} = \frac{a}{360 B} \cdot \frac{(B + b)(B^2 + b^2)}{B^3} \cdot \frac{c^2}{4g}, \text{ oder auch}$$

$$h = \frac{a}{360 B}\left(1 + \frac{b}{B}\right)\left(1 + \frac{b^2}{B^2}\right)\frac{c^2}{4g}.$$

Wir wollen nun nach diesen Verhältnissen den Widerstand berechnen, welchen das Wasser bei seinem Ausflusse durch das Mundstück ABCD erfährt. Die unter dem Texte beigefügte Rechnung *) zeigt, dass die Druckhöhe h′ zur Gewältigung des Widerstandes im Mundstücke, wenn demselben die Gestalt des zusammengezogenen Wasserstrahles gegeben wird, nur $\frac{1}{90}$ von der Geschwindigkeitshöhe des aus der Mündung ausfliessenden Wassers betrage, und dass diess allgemein Statt finde, der Durchmesser des ausfliessenden Wasserstrahls mag grösser oder kleiner genommen werden. Hierdurch erhalten wir eine sehr leichte Berechnung sowohl für die Menge des in 1 Sekunde ausfliessenden Wassers, als auch für die hierzu erforderliche Druckhöhe. Fig. 21. Tab. 47.

Nennen wir nämlich die Länge des Rohres, wodurch dem Mundstücke das Wasser zugeführt wird $= l$, und den Durchmesser desselben $= d$, so ist die Geschwindigkeit im Gussrohre $v = c \cdot \frac{4\varepsilon^2}{d^2}$ und die zur Bewirkung der Sprunghöhe $\frac{c^2}{4g}$ nöthige Druckhöhe $H' = \frac{c^2}{4g} + \frac{l \cdot 16\varepsilon^4 \cdot c^2}{45 d^5 \cdot 4g} + \frac{1}{90} \cdot \frac{c^2}{4g}$. Wenn also die Höhe A, auf welche das Wasser getrieben werden soll, gegeben ist, so haben wir $c = 2\sqrt{g \cdot A}$ und die nöthige Druckhöhe $H' = A\left(1 + \frac{l(2\varepsilon)^4}{45 d^5} + \frac{1}{90}\right)$. Wenn wir nun so wie bei dem vorigen konischen Gussrohre den Durchmesser der obern Mündung $2\varepsilon = 7{,}5$ Linien $= \frac{5}{8}$ Zoll, den Durch-

*) Die Geschwindigkeit v in dem Querschnitte E F verhält sich zur Geschwindigkeit c in der Ausmündung A B verkehrt wie die Querschnittsflächen, oder wie $\pi \cdot \varepsilon^2 : \pi \cdot y^2$; demnach ist $v = c \cdot \frac{\varepsilon^2}{y^2}$. Dadurch erhalten wir den Widerstand für die Länge $OP = dx$ nach den früher angeführten allgemeinen Gleichungen $dh' = \frac{dx}{45 \cdot 2y} \cdot \frac{\varepsilon^4}{y^4} \cdot \frac{c^2}{4g}$. Setzen wir statt y seinen Werth, so ist $dh' = \frac{c^2}{90 \cdot 4g \cdot \varepsilon} \cdot \frac{dx}{\left(1 + \frac{\beta \cdot x^2}{\varepsilon \cdot a^2}\right)^5}$. Weil hier in jedem Falle β kleiner als ε, und x kleiner als a ist, so können wir diese Differenzialgleichung durch folgende Annäherung auflösen Fig. 21.

$$dh' = \frac{c^2}{90 \cdot 4g \cdot \varepsilon} \cdot dx \left\{1 + \frac{\beta \cdot x^2}{\varepsilon \cdot a^2}\right\}^{-5}$$

$$= \frac{c^2}{90 \cdot 4g \cdot \varepsilon} \cdot dx \left\{1 - \frac{5\beta}{\varepsilon} \cdot \frac{x^2}{a^2} + \frac{15\beta^2}{\varepsilon^2} \cdot \frac{x^4}{a^4} - \frac{35\beta^3}{\varepsilon^3} \cdot \frac{x^6}{a^6} + \frac{70\beta^4}{\varepsilon^4} \cdot \frac{x^8}{a^8} - \frac{126\beta^5}{\varepsilon^5} \cdot \frac{x^{10}}{a^{10}} + \frac{210\beta^6}{\varepsilon^6} \cdot \frac{x^{12}}{a^{12}} - \cdots\right\}$$

Daraus folgt die Widerstandshöhe

$$h' = \frac{c^2}{90 \cdot 4g \cdot \varepsilon}\left\{x - \frac{5}{3}\frac{\beta}{\varepsilon} \cdot \frac{x^3}{a^2} + \frac{3\beta^2}{\varepsilon^2} \cdot \frac{x^5}{a^4} - \frac{5\beta^3}{\varepsilon^3} \cdot \frac{x^7}{a^6} + \frac{70\beta^4}{9\varepsilon^4} \cdot \frac{x^9}{a^8} - \frac{126}{11}\frac{\beta^5}{\varepsilon^5} \cdot \frac{x^{11}}{a^{10}} + \frac{210}{13}\frac{\beta^6}{\varepsilon^6} \cdot \frac{x^{13}}{a^{12}} - \cdots\right\}$$

Wird nun dieses Integral für die ganze Länge des Mundstückes M N genommen und $x = a$ gesetzt, so erhalten wir

$$h' = \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{a}{90\varepsilon}\left\{1 - \frac{5}{3}\frac{\beta}{\varepsilon} + \frac{3\beta^2}{\varepsilon^2} - \frac{5\beta^3}{\varepsilon^3} + \frac{70}{9}\frac{\beta^4}{\varepsilon^4} - \frac{126}{11}\frac{\beta^5}{\varepsilon^5} + \frac{210}{13}\frac{\beta^6}{\varepsilon^6} - \cdots\right\}$$

Nach den oben angeführten Werthen ist

$$\frac{a}{\varepsilon} = \frac{\frac{10}{9}e}{0{,}787\,e} = 1{,}4118 \text{ und } \frac{\beta}{\varepsilon} = \frac{0{,}213\,e}{0{,}787\,e} = 0{,}2706, \text{ mithin}$$

$$h' = \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{1{,}4118}{90}(1 - 0{,}451 + 0{,}220 - 0{,}099 + 0{,}042 - 0{,}017 + 0{,}006 - \cdots)$$

$$= \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{0{,}9897}{90}, \text{ also sehr nahe } = \frac{1}{90} \cdot \frac{c^2}{4g}.$$

messer des Rohres $d = 1{,}5$ Zoll, folglich $\frac{2\varepsilon}{d} = \frac{5}{12}$ und die Länge des Gussrohres $l = 42$ Zoll setzen, so ist die nöthige Druckhöhe $H' = A\,(1 + 0{,}019 + 0{,}011) = 1{,}030\,A$.

Bei dem vorigen durchaus konischen Gussrohre war $H = 1{,}259\,A$; folglich beträgt der Unterschied zwischen beiden $0{,}229\,A$, also mehr als ein Fünftel der ganzen Steighöhe A, oder wenn wir bei beiden dieselbe drückende Wassersäule H voraussetzen, so ist die Steighöhe bei dem frühern konischen Rohre $A = \frac{H}{1{,}259}$ und bei dem Rohre mit der Krümmung des zusammengezogenen Srahles $A' = \frac{H}{1{,}030}$; es verhält sich daher $A : A' = \frac{H}{1{,}259} : \frac{H}{1{,}030} = 1 : 1{,}22$. Demnach ist die Steighöhe mit unserm trichterförmigen Mundstücke bei derselben Druckhöhe um $\frac{1}{5}$ grösser als bei dem konischen Mundstücke. Wir glauben hiernach für alle solche Fälle den Rath ertheilen zu können, dass man den Gussröhren die zylindrische Form gibt und oben ein Mundstück anschraubt, dessen innere Höhlung nach der Gestalt des zusammengezogenen Strahles gearbeitet ist. Die Bearbeitung eines solchen Mundstücks wird keinem Anstande unterliegen, wenn man sich hierzu eine Fläche mit den Lehrbögen AB und $A'B'$ verfertigt, und zur Beschreibung dieser Bögen den Halbmesser AC und $A'C'$ dem doppelten Durchmesser AA' gleich nimmt, und die Höhe des Mundstückes $mn = \frac{5}{7}\,AA'$ macht, wofür man $mn = AA'$ setzen kann.

Fig. 22. Tab. 47.

§. 160.

Zur Bestimmung der Wassermenge, welche eine solche Spritze geben wird, haben wir offenbar $M = \pi . \varepsilon^2 . c$ und $c = 2\sqrt{g . A}$, also auch $M = \pi . \varepsilon^2 . 2\sqrt{g . A}$. Wenn also von den 3 Grössen M, ε und A zwei gegeben sind, so lässt sich aus dieser Gleichung immer die dritte finden.

Uiber die senkrechte Richtung des Strahles ist noch zu bemerken, dass derselbe von unten aufwärts zwar sehr geschlossen bleibt, jedoch oben in der Nähe des höchsten Punktes wegen der abnehmenden Geschwindigkeit sich sehr erweitern muss. Setzen wir z. B. den untern Halbmesser ε und jenen auf der Höhe $x = y$, dann die grösste Höhe $\frac{c^2}{4g} = A$, so ist die Geschwindigkeit auf der Höhe $x = 2\sqrt{g(A - x)}$ und weil die Wassermengen in jedem Querschnitte einander gleich sind, so ist $\pi . y^2 . 2\sqrt{g(A - x)} = \pi . \varepsilon^2 . 2\sqrt{g . A}$; daraus folgt $y = \varepsilon \sqrt[4]{\frac{A}{A - x}}$. Setzen wir die Höhe $x = \frac{15}{16} . A$, so ist $y = 2\varepsilon$, und eben so wenn $x = \frac{80}{81}\,A$ ist, so ist $y = 3\,\varepsilon$ u. s. w.

Weil aber durch diese Erweiterung die äusseren Strahlen in einer schiefen Richtung steigen und folglich nicht mehr die ganze Höhe erreichen können, so geschieht es, dass das Wasser an der Seite schon früher umkehrt und das Aufsteigen des Strahles verhindert; hieraus erklärt sich, warum zwar der erste Theil des ausfliessenden Strahles die Höhe $\frac{c^2}{4g}$ erreicht, aber durch sein Zurückfallen das Aufsteigen der nächstfolgenden Wassertheile hindert, so dass ein beständiger Wechsel in der Höhe des Strahles erfolgt. In dieser Hinsicht pflegt man den springenden Strahlen eine kleine Neigung zu geben,

damit die von oben zurückkehrenden Wassertheile neben die Oeffnung fallen, und das Aufsteigen des Strahles nicht hindern. Bei Feuerspritzen wird diese Neigung nach Verhältniss der Höhe und Breite der Gebäude noch grösser gemacht und die Spritzen selbst auf eine angemessene Entfernung vom zu löschenden Feuer gestellt. Da es jedoch darauf ankommt, die grösste Höhe zu messen, auf welche der springende Strahl bei einer gegebenen Spritze mit einer bestimmten Anzahl von Menschen getrieben werden kann, um hiernach die Brauchbarkeit dieser Maschinen zu beurtheilen, so pflegt man die zu probirende Spritze auf einen geräumigen Platz zu führen, das Gussrohr unter einem Winkel von 45 Grad mit dem Horizonte zu richten und die Entfernung zu messen, in welcher der Strahl auf den Horizont fällt; die Hälfte dieser Entfernung gibt die grösste Höhe, auf welche der Strahl in der senkrechten Richtung getrieben werden kann. Nach §. 503 Seite 546 im I. Bande ist nämlich die Wurfsweite oder der ganze horizontale Raum des auf den Horizont zurückfallenden Körpers $= \frac{c^2 . \operatorname{Sin} w \cdot \operatorname{Cos} w}{g} = \frac{2 c^2 . \operatorname{Sin} 2 w}{4 g}$. Diese Wurfsweite ist offenbar am grössten, wenn $\operatorname{Sin} 2 w = 1$, folglich der Winkel $w = 45$ Grad, und in diesem Falle ist die Wurfsweite $= \frac{2 c^2}{4 g}$ oder der doppelten Höhe des senkrecht steigenden Strahles gleich.

§. 161.

Mit Hilfe der vorstehenden Berechnungen lässt sich nun auch die Anzahl der Menschen bestimmen, welche zur Betreibung einer Spritze nothwendig sind. Es sey die Kolbenfläche dieser Spritze $= F$ und an dieselbe drücke die Wassersäule H, so muss der Kolben offenbar mit einer Kraft $56{,}4\, F . H$ niedergedrückt werden. Setzen wir das Verhältniss der Hebelsarme, durch welche die Kolbenstange bewegt wird $= \frac{b}{a}$ und die Kraft der angestellten Menschen $= n . K$, so ist $n . K = 56{,}4\, F . H \cdot \frac{b}{a}$. Wenn wir nun annehmen, dass der Kolben z. B. in einer Sekunde niedergeht, so ist die in derselben Zeit herausgetriebene Wassermenge $M = F . e$, wenn nämlich die Höhe des Kolbenzugs e genannt wird. Setzen wir den Werth $F = \frac{M}{e}$ in die vorige Gleichung, so ist $56{,}4 \frac{M}{e} \cdot H \cdot \frac{b}{a} = n . K$, oder $56{,}4 M . H = n . K . e \cdot \frac{a}{b}$. Nun ist aber $e \cdot \frac{a}{b}$ der Raum, den die Kraft der Arbeiter in einer Sekunde zurücklegen muss $= v$, woraus sich $\frac{56{,}4\, M . H}{K . v} = n$ die Anzahl der anzustellenden Menschen ergibt.

Die Anzahl Arbeiter wird demnach erhalten, wenn das Bewegungsmoment des Wassers durch das Bewegungsmoment eines Arbeiters dividirt wird. Unter dem Bewegungsmomente des Wassers wird hier das Produkt aus dem Gewichte des Wassers, welches in einer Sekunde in die Höhe getrieben werden soll, in die ganze Steighöhe H mit Inbegriff der Widerstandshöhe verstanden.

Beispiel. Es sey die Wassermenge, welche die Spritze in einer Sekunde gibt $M = \frac{1}{6}$ Kubikfuss und die Steighöhe $A = 72$ Fuss; demnach ist die Druckhöhe nach §. 159 $H = 1{,}03 . 72 = 74{,}2$ Fuss. Das Bewegungsmoment K . v eines Arbeiters wollen wir in dem

gegenwärtigen Falle, wo die Menschen in kurzen Zeiträumen abgewechselt werden, dem doppelten mittleren Bewegungsmomente 2.2,5.25 ℔ setzen. Mit diesen Werthen erhalten wir die Anzahl der Menschen, welche zur Betreibung eines einfachen Druckwerkes oder Spritze nothwendig ist, $n = \frac{56{,}4 \cdot 1/6 \cdot 74{,}2}{2 \cdot 2{,}5 \cdot 25} = 5{,}6$, wofür wir 6 Menschen annehmen können. Werden aber zur fortwährenden Unterhaltung des springenden Strahles 2 Stiefel angewendet, so sind an jeder Seite der Spritze 6, folglich zusammen 12 Menschen nothwendig.

Mit diesen Betrachtungen schliessen wir die Theorie dieses Gegenstandes, und bemerken, dass das praktische Detail und die weiteren Berechnungen über Feuerspritzen später folgen werden.

§. 162.

Nachdem wir in den vorhergehenden §§. die vollständige Theorie über die Leitung des Wassers durch Röhren und die Benützung des letztern zu Springbrunnen gegeben haben, kommen wir nunmehr zu den praktischen Bemerkungen über diesen Gegenstand.

Die **Wasserleitungsröhren** werden entweder von Holz, von Gusseisen oder Blei, seltener aus künstlichen irdenen, gebrannten Massen verfertigt. Die Stärke dieser Röhren haben wir bereits §. 20, 21 und 22 nach der Theorie und Erfahrung bestimmt. Es handelt sich nun, anzugeben, wie diese Röhren zusammengefügt und gelegt werden. Die erste
Fig. 1. Tab. 48. Art hölzerne Röhren zusammenzufügen ist Fig. 1 dargestellt; es werden nämlich die Röhren an ihren Enden konisch abgearbeitet, und eine Röhre in die andere geschoben, nachdem man die Fläche a b c d mit getheerten Hanf umwickelt hat. Hierauf wird ein schmiedeiserner Ring e f angetrieben. Die zweite Art hölzerne Röhren zu
Fig. 2. verbinden, ersehen wir aus Fig. 2; es wird nämlich ein eiserner Ring m n o p, der in der Mitte mit einem hervorstehenden Rande a b versehen ist, zur Hälfte in die eine und zur Hälfte in die andere Röhre eingelassen, zu welchem Behufe die nothwendige Oeffnung für diesen Ring beiderseits eingestemmt wird. Hierauf werden die Röhren fest
Fig. 3. an einander getrieben. Endlich stellt Fig. 3 die dritte Art dar, wie hölzerne Röhren zusammengefügt werden; hierbei wird wieder die einzuschiebende Röhre mit getheertem Hanfe umwickelt und beide Röhren fest in einander getrieben.

In der Hauptstadt Prag, wo noch ein grosser Theil der Wasserleitungsröhren von Holz gelegt ist, werden dieselben aus gesunden Stämmen Kiefern, in der Länge von 15 bis 16 Fuss erzeugt; der äussere Durchmesser dieser Stämme beträgt im Mittel zwischen dem Zopf- und Stammende 12 Zoll, der Durchmesser im Lichten derselben für die Wasserleitung beträgt aber nur 2¼ Zoll. Diese Röhren werden durch den
Fig. 4. Fig. 2 dargestellten und Fig. 4 im doppelten Masstabe gezeichneten eisernen Ring (eine eiserne Büchse) von 4 Zoll im Durchmesser mitsammen verbunden und erhalten kein weiteres Beschläge. Da nun diese Röhren einen Druck von 16 bis 21 Klafter vertikaler Höhe vom Wasserspiegel in den *Reservoirs* auf den Prager Wasserthürmen an gerechnet, auszuhalten haben, so ergibt sich für diese kiefernen Röhren nach Seite 23 die Gleichung $x''' = \frac{D'' \cdot H'}{5}$, welche mit der Erfahrung von *Langsdorf* nahe übereinstimmt, wogegen aber seine Röhren mit eisernen Ringen beschlagen waren. Diese Röhren

dauern in Prag im Durchschnitte nur 6 Jahre und gehen gewöhnlich desshalb zu Grund, weil das Wasser wie Fig. 5 zeigt, das Holz bei mo angreift und in der angezeigten Krümmung mno, selbst bis auf 3 und 4 Zoll Tiefe ausfrisst. Ist diess geschehen, so sind die Röhren unvermögend, den bedeutenden Druck auszuhalten und sie zerspringen. Aus dieser Ursache werden gegenwärtig alle neuen Wasserleitungen in Prag mit gusseisernen Röhren hergestellt, und die hölzernen Leitungen nach und nach durch gusseiserne ersetzt. Fig. 5. Tab. 48.

§. 163.

Die **gusseisernen Wasserleitungsröhren** in Prag, mittelst welcher das Moldauwasser in die an beiden Ufern liegenden Stadttheile geführt wird, sind 5 Fuss lang, 5 Linien stark und mit einem an die Röhre angegossenen Stutzel oder einer **Muffe** von 8 Zoll Länge versehen; die letztere dient, um die nächste Röhre aufzunehmen, und hat einen Durchmesser von 5 Zoll im Lichten, wenn der äussere Durchmesser der Röhre 4 Zoll 10 Linien beträgt; es bleibt daher ein Zwischenraum von 2 Linien übrig. In diese Muffe wird nun die nächste Röhre eingeschoben, und in den Zwischenraum von 2 Linien hölzerne Keile getrieben, die früher in heissen Theer eingelassen wurden, wodurch man eine vollkommene Wasserdichtigkeit erlangt. Die Verkittung dieser Röhren liess sich aus dem Grunde nicht anwenden, weil die Leitung bei dem fortwährenden Gebrauche für die Stadt nicht so lange ohne Wasser gelassen werden kann, bis der Kitt erhärtet. Nicht alle eisernen Röhren sind mit einer Muffe versehen, sondern sie bestehen auch aus geraden Rohrstücken, zu deren Verbindung die erforderlichen Muffen von 8 Zoll Länge besonders gegossen werden. Fig. 7 zeigt die Verbindung zweier solcher Rohrstücke mit einer verschiebbaren Muffe. Fig. 6. Fig. 7.

Sowohl die Röhren mit Muffen als jene ohne dieselben erhalten eine Stärke von 5 Linien und einen Durchmesser von 3 oder auch 4 Zoll im Lichten. Ihre Länge beträgt immer ohne die Muffen 5 Fuss; es kommen daher auf 1000 Fuss Länge gerade 200 Stück Röhren und eben so viele Muffen zu rechnen. Das Gewicht derselben beträgt für eine Länge von 5 Fuss bei einem Durchmesser von 4 Zoll gerade 100 ℔, bei 3 Zoll 70 ℔, bei $2\frac{1}{2}$ Zoll 50 ℔, bei 2 Zoll 40 ℔, und bei $1\frac{1}{2}$ Zoll 30 ℔, worunter auch schon die Muffe begriffen ist, doch werden diese schwachen Gattungen nur bei den Nebenröhren in einzelne Gebäude gebraucht. Der N. Oe. Zentner dieser Röhren wird in Prag mit beiläufig 5 fl. C. M. bezahlt.

Werden gusseiserne Röhren mit hölzernen verbunden, so wird die hölzerne Röhre a nach dem Durchmesser der eisernen b ausgestemmt, erhält von Aussen einen geschmiedeten eisernen Reifen cc und wird dann mit hölzernen Keilen d, d ausgezwickt, wie Fig. 8 zeigt. Fig. 8.

Wo eine Röhrenleitung sich theilt, werden die nächsten Röhren entweder wie Fig. 9 unter spitzen oder wie Fig. 10 unter rechtem Winkel angegossen. Wo aber eine Röhrenleitung in gekrümmten Strassen fortgeführt, oder um ein Eck gelegt werden muss, wird sie, so viel es nur thunlich ist, in einer möglichst grossen Krümmung angelegt und die Röhren derselben entsprechend gegossen. Endlich werden die eisernen Leitungsröhren in Prag wenigstens 6 bis 7 Fuss unter der Erdoberfläche eingegraben, damit selbe von der Einwirkung des Frostes frei bleiben. Die Erfahrung hat gezeigt, Fig. 9 und 10.

dass diese Röhren in einer Tiefe von 4 bis 5 Fuss noch einfroren, wodurch dann die Leitung des Wassers im Winter gehemmt wurde. — Hinsichtlich der Stärke der Röhren ist noch zu bemerken, dass die vertikalen Einfallsröhren, welche von den *Reservoirs* der Wasserthürme herabgehen, eine Stärke von 9 Linien, die Leitungsröhren in der Stadt selbst aber durchaus die angegebene Stärke von 5 Linien erhalten; die 9 Linien starken Röhren sind ebenfalls 5 Fuss lang und wiegen sammt der Muffe 150 bis 155 ℔.

Fig. 11. Tab. 48. Eine andere Art der Verbindung gusseiserner Röhren erscheint Fig. 11; es wird nämlich an jedem Ende der Röhre ein senkrecht hervorstehender Rand angegossen, welcher mit Oeffnungen zur Aufnahme von Schrauben versehen ist. Man legt nun zwischen die hervorstehenden Ränder zweier Röhren eine Bleiplatte und zu beiden Seiten Scheiben von Leder, welches in Theer getränkt wurde, und zieht dieselben mittelst der Schrauben an. Fig. 12. Noch eine Art der Verbindung gusseiserner Röhren erscheint Fig. 12; hierbei ist an jede Röhre eine Muffe angegossen und man wickelt an die innere Röhre in den halben Spielraum getheerten Hanf und vergiesst die andere Hälfte mit Blei oder schlägt einen bleiernen Ring bei a b hinein. Endlich können gusseiserne Röhren Fig. 13 und 14. mit hervorstehenden Rändern noch auf die Art verbunden werden, welche Fig. 13 im Durchschnitt und Fig. 14 in der Ansicht darstellt. Es werden nämlich zwei mit Lappen versehene Halbkreise mittelst Schrauben zusammengezogen und so die hervorstehenden Ränder der Röhre, zwischen welche ein getheerter Streifen von Leder oder Filz eingelegt wird, wasserdicht verbunden.

§. 164.

Wenn gusseiserne Röhren unter der Erdoberfläche liegen, wo die Temperatur immer dieselbe bleibt, so reichen die bisher beschriebenen Verbindungsarten derselben hin; allein wenn gusseiserne Röhren am Tage liegen und beide Ende oder mehrere Punkte der Leitung fest gemacht sind, so muss eine Vorrichtung vorhanden seyn, wodurch der Einfluss, welchen die Temperatur auf die Länge derselben nimmt, möglichst behoben wird. Wir haben Seite 84 angeführt, dass die Ausdehnung des Gusseisens für 80° *Reaum.* 1/900 der Länge desselben beträgt. Da nun die Temperatursänderung in unserem Klima mit beiläufig 40° anzunehmen ist, so wird eine Röhrenleitung von 1800 Fuss Länge im Sommer beiläufig um 6 Zoll länger und im Winter um 6 Zoll kürzer werden, als die Länge derselben bei der mittleren Temperatur beträgt. Man bringt zu diesem Behufe in entsprechenden Entfernungen Kompensazionsröhren an, innerhalb welcher die Fig. 15. Ausdehnung oder Verkürzung der Röhren Statt finden kann. Fig. 15 zeigt die einfachste Art derselben, welche Herr *Girard* in Paris vorgeschlagen hat; es wird nämlich auf den hervorstehenden Rand einer Muffe ein sehr genau an die eingeschobene Röhre passender Filz oder getheerter Hanf angelegt, und mittelst eines gusseisernen Ringes a b durch die Schrauben c d, e f in dieser Lage erhalten. So lange nun dieser Filz genau schliesst, kann sich auch die Röhre A beliebig verlängern oder verkürzen, ohne dem Wasser einen Ausweg zu gestatten. Da jedoch der Filz oder getheerte Hanf sich in einiger Zeit ab- Fig. 16. wetzt, so bedient man sich der Kompensazionsröhre Fig. 16, welche von *Hachette* in Paris vorgeschlagen, bei der Wasserleitung von *Marly* gebraucht wurde. Man legt hierbei nach Art der *Bramah*'schen, Seite 133 beschriebenen Liederung getheerten Hanf in

den Raum m n o p, m′n′o′p′ ein, und drückt denselben durch Anziehen der Schrauben mittelst der schiefen Flächen m n und m′n′ fortwährend an die Oberfläche der Röhre A zur Bewirkung einer genauen Schliessung an. Man hat zu gleichem Zwecke verschiedene Kitte vorgeschlagen, welche in den Raum m n o p gebracht, die Eigenschaft besitzen, das Wasser fortwährend abzusperren; doch haben dieselben grösstentheils nicht entsprochen.

§. 165.

Die gusseisernen Wasserleitungsröhren werden in Prag, wie wir bereits erinnerten, zur Vermeidung des Einfrierens 6 bis 7 Fuss unter die Erdoberfläche gelegt, d. h. in die Erde eingegraben. Man hat aus gleicher Ursache nirgends diese Röhren in die gewölbten Kanäle, welche sich unter dem Strassenpflaster befinden, und zur Ableitung des Wassers und des Unrathes dienen, legen können, da sie darin überall einfroren. Es fragt sich nun, wie man einem Gebrechen der Röhrenleitung nachsehen könne; z. B. wie eine zersprungene oder verstopfte Röhre aufgefunden wird. Zu diesem Zwecke dienen die sogenannten **Visitirröhren**; diess sind 6 Zoll lange vertikal aufrechtstehende Röhrenstücke, welche den gleichen Durchmesser und gleiche Dicke wie die Röhre selbst haben und an derselben angegossen werden. Eine jede zwölfte Röhre ist mit einem solchen Visitirrohre versehen; diese kommen daher in der Entfernung von 12.5 = 60 Fuss = 10 Klafter vor. Damit eine solche Röhre aus der übrigen Verbindung herausgenommen werden könne, ist an jedem Ende derselben eine bewegliche Muffe angebracht, welche daher zurückgeschlagen werden kann. Das aufrechtstehende 6 Zoll hohe Rohr wird mit einem hölzernen Spunde zugeschlagen, welcher durch mehrere von beiden Seiten angebrachte Schläge wieder freigemacht werden kann. Endlich werden von 20 zu 20 Klafter sogenannte Wasserkreuze oder **Spundfutter** über einem jeden zweiten Visitirrohre aufgemauert, um mittelst derselben den Röhren leichter beikommen zu können. Befindet sich nun irgendwo eine gesprungene oder schlecht verbundene Röhre, wo das Wasser entweicht, so wird von 20 zu 20 Klafter bei den aufgemauerten Spundfuttern nachgesehen und untersucht, ob die Röhre daselbst noch voll fliesst; wo diess nicht mehr der Fall ist, wird die letzte Strecke von 20 Klaftern aufgegraben und statt der schadhaften Röhre eine neue eingelegt.

Fig. 17. Tab. 48.

Die Visitirröhren dienen auch zum **Reinigen der Wasserleitungsröhren**. Da nämlich das Wasser im untern Theile von Prag durch Druckwerke in die 16 bis 21 Klafter hoch in den Wasserthürmen vorhandenen *Reservoirs* gehoben und von dort durch andere Röhren in der Stadt vertheilt wird, ohne dass irgendwo eine besondere Reinigung oder Filtrirung desselben Statt findet, so wird fortwährend, vorzüglich aber nach Regengüssen oder bei Eisgängen, wo das Wasser in der Moldau sehr trübe ist, eine bedeutende Menge feiner Sand und Schlammtheile mit dem Wasser in die *Reservoirs* gehoben und von dort in den Röhren weiter geführt. Dieser Schlamm setzt sich in den Röhren ab und bildet daselbst Erhabenheiten, welche beiläufig die Form der ungarischen Knoppern oder Nüsse haben und wodurch der innere Röhrendurchmesser nach und nach immer mehr vermindert wird; es wird demnach nothwendig die Wasserröhren von Zeit zu Zeit vom Schlamme zu reinigen. Die einfachste Reinigung besteht darin, dass man die hölzernen Spunde aus den Visitirröhren von 20 zu 20 Klaftern einzelnweise herausschlägt, worauf das Wasser mit Heftigkeit daselbst herausfliesst und einen Theil des in den Röhren abgesetzten

Schlammes mit sich reisst. Um diese Reinigung zu vermehren, wird nun noch durch die Visitirröhre Wasser mittelst einer Handspritze eingespritzt, wodurch die Bewegung innerhalb der Röhren vergrössert und der Schlamm hierdurch herausgeführt wird. Diese Reinigung geschieht alle Jahre nach dem Eisgange oder auch während des Jahres, wenn mehrere anhaltende Regengüsse eintraten und sich bereits viel Schlamm abgesetzt hat.

§. 166.

Alle Wässer, welche durch Röhrenleitungen fortgeführt werden, enthalten nebst Sand und Schlamm, welcher sich nach den Ortsverhältnissen mehr oder minder in denselben befindet, auch häufig kohlensauren Kalk, schwefelsauren Kalk und etwas Bittererde, so wie Eisenoxyd, oder auch nur einige dieser Körper. Hierdurch geschieht es gewöhnlich, dass sie sich in einiger Zeit inkrustiren, d. h. dass sich die genannten Körper in den Röhren absetzen, und auf diese Art ihren Durchmesser verringern. Wo die Wässer, welche eine Röhrenleitung fortführt, viel kohlensauren Kalk mit sich führen, werden diese Inkrustazionen in kurzer Zeit sehr bedeutend. Diess ist z. B. in der Gegend bei Wien der Fall. In dem Lehrbuche der Baukunst von *Franz Weiss*, Major im k. k. Ingenieurkorps, wird im 2ten Bande Seite 51 als Thatsache folgendes angeführt: „Als in den Jahren 1820 etc. die über das *Glacis* der Stadt Wien laufenden gusseisernen Röhrenleitungen (der fortifikatorischen Veränderungen wegen) ausgegraben und nach andern Richtungen gelegt werden mussten, fand man einzelne Röhren, die obwohl sie 3 Zoll zur Weite hatten, dermassen mit festen, beinahe in Stalaktit übergehenden Kalktuf inkrustirt waren, dass dem Wasser zu seiner Strömung kaum eine Oeffnung von einem Quad. Zoll Querschnitt übrig blieb.“ Dieser Absatz bestand grösstentheils aus Kalk, welcher nach Entweichung der Kohlensäure sich niederschlug, dann aus etwas Bittererde und Eisenoxyd.

In Paris waren vor mehreren Jahren die gusseisernen Wasserleitungsröhren so verstopft, dass das Wasser in denselben kaum mit einem Zoll im Durchmesser floss, während der frühere Durchmesser 4 Zoll betragen hatte; man befürchtete daher, dass die Leitung des Wassers in Kurzem ganz aufhören werde. Um nun die Röhren zu reinigen, wollte man dieselben nach Aufreissung des Strassenpflasters auseinander legen, und dann wieder an ihren frühern Ort bringen. Die Auslagen hierfür waren mit 100000 Franken berechnet, wobei aber ausserdem der Verkehr in den Strassen bedeutend gehemmt worden wäre. Die Regierung forderte die französischen Gelehrten auf, ein Mittel anzugeben, wodurch die Reinigung der Röhren ohne Abbrechung derselben möglich gemacht würde. Der Chemiker Herr *d'Arcet* untersuchte die Inkrustazion der Röhren, und fand, dass sie aus kohlensaurem und schwefelsaurem Kalk bestand und daher durch Salzsäure aufgelöst werden konnte. Nach seinem Vorschlage wurde nun eine jede Röhrenstrecke für sich abgesperrt, und in dieselbe Salzsäure hineingelassen. Nach einiger Zeit verband sie sich mit dem Kalke aus dem kohlensauren Kalk und es blieb bloss der schwefelsaure Kalk, jedoch in so poröser Gestalt übrig, dass derselbe, als nach Auflösung des kohlensauren Kalkes die gesättigte Salzsäure heraus- und frisches Wasser wieder eingelassen wurde, in Stücken mit dem Wasser herausging, und die Röhren vollkommen gereiniget waren. Bei dieser Operazion war man nirgends in die Nothwendigkeit versetzt, das Strassenpflaster aufzureissen, und die Kosten derselben

betrugen bloss 25000 Franken oder den vierten Theil dessen, was das Aufreissen des Pflasters und Reinigen der Röhren gekostet hätte.

In Prag wird nebst der im vorigen Paragraphe beschriebenen Reinigung der Wasserröhren von dem angehäuften Schlamme noch eine zweite Hauptreinigung alle 4, 5 bis 6 Jahre vorgenommen, wodurch der abgesetzte Kalk und was sonst das Wasser mit sich führt, von den Röhren abgebrochen wird. Diess geschieht mittelst der sogenannten **Rohrbirn**, welche von Eisen verfertigt, mit Federn a b, die sich an die Seitenwand der Röhren anlegen, versehen ist. Zum Behufe dieser Reinigung werden die von 20 zu 20 Klaftern angebrachten Visitirröhren durch Zurückschlagen der Muffen herausgenommen, die Rohrbirn in das dazwischenliegende Röhrenleitungsstück von beiläufig 20 Klaftern Länge eingelegt, und mittelst einer stückweise angesetzten eisernen Stange hin- und hergezogen. Durch die Federn, welche sich hierbei an die innere Wand der Röhre anlegen, wird der Ansatz von Kalk und andern Theilen in den Röhren abgebrochen und wenn man wieder Wasser hineinlässt, die Röhren vollkommen gereinigt. Da der Druck der Federn gegen die Röhrenwände bei einer Rohrbirn zur völligen Reinigung nicht hinreichen würde, so hat man mehrere solche Rohrbirnen von ungleichen Dimensionen und zieht immer stärkere und stärkere durch die Wasserleitungsröhren, bis sie vollkommen gereinigt sind. Fig. 19 stellt eine einfach gespaltene Rohrbirn vor, welche nicht so vielen Reperaturen als jene mit Federn unterliegt. Fig. 18. Tab. 48. Fig. 19.

Manchmal ereignet es sich dennoch, dass die Wasserleitungsröhren zufrieren und demnach **aufgethaut** werden müssen. Diess geschieht, indem man abermals die Spunde aus den Visitirröhren herrausschlägt und mittelst einer Tragspritze mit Windkessel, welche mit einem langen hanfenen Schlauche versehen ist, heisses Wasser in die Röhre spritzt, welches nach und nach das Eis aufthaut und somit dem Schlauche immer mehr Raum zum Vordringen gewährt.

§. 167.

Die Wasserleitungsröhren müssen vor ihrem Gebrauche in zweifacher Hinsicht geprüft werden, ob sie nämlich den **richtigen Durchmesser** in ihrer ganzen Länge haben, und ob die Röhren nach allen Seiten die gleiche und gehörige Stärke besitzen, dann ob nicht einige Blasen oder andere Gussfehler in denselben vorfindig sind.

Um zu erfahren, ob eine Röhre die **bestimmte innere Oeffnung** habe, wird ein eiserner Stab mit einer Scheibe von dem geforderten Durchmesser (das **Visitireisen**) durch die ganze Länge der Röhre gezogen, wo man sogleich sieht, ob der gehörige Durchmesser vorhanden sey. Fig. 20.

Die **Prüfung der Stärke der Röhren** wird gegenwärtig in einem jeden guten Eisenwerke noch vor Ablieferung der Röhren vorgenommen. Man bedient sich hierzu der **hydrostatischen Presse**, welche wir im vorigen Kapitel umständlich beschrieben haben. Es wird nämlich das eine Ende der zu prüfenden Röhre geschlossen, und in das andere Ende Wasser so lange eingepumpt, bis der Druck desselben, welcher sich aus dem am Sicherheitsventile angebrachten Gewichte berechnen lässt, wenigstens zweimal so gross als jener Druck ist, welchen die Röhren nach ihrer Verwendung an Ort und Stelle auszuhalten haben. Es leuchtet von selbst ein, dass man bei dieser Probe nicht bloss die kleinen im Gusse allenfalls gebliebenen Oeffnungen, sondern auch eine jede Blase

und überhaupt jeden Fehler zu entdecken im Stande sey. Die Wasserleitungsröhren, welche in *Horžowitz* gegossen werden, unterliegen daselbst einzelnweise einer solchen Probe.

§. 168.

Bei jeder Wasserleitung werden Hähne oder Pipen (*Robinets*) gebraucht. Der Zweck derselben ist, den Lauf des Wassers in einer Röhrenleitung entweder ganz abzusperren oder zu vermindern. Will man in ausserordentlichen Fällen, z. B. bei Feuersbrünsten die ganze Wassermenge, welche eine Röhrenleitung fortführt, an dem bestimmten Orte ausfliessen lassen, so werden alle andern Leitungsröhren mit Hähnen abgesperrt; fällt eine Reparatur in einer entfernten Röhrenstrecke vor, so sperrt man mittelst eines Hahnes den Wasserlauf an der beschädigten Strecke und macht es dadurch möglich, dass alle zwischen dem Hauptbehälter (Wasserthurme) und der beschädigten Strecke liegenden Wasserausflüsse ungehindert fortgehen; soll endlich in einer Haupt- oder Nebenröhre etwas weniger Wasser fortgeführt werden, so wird diess auch durch theilweise Schliessung des betreffenden Hahnes erreicht. Hieraus sieht man, dass jede Röhrenleitung nothwendig mit einer hinreichenden Anzahl solcher Hähne versehen werden muss.

Die Hähne werden zwischen zwei Röhren in eigends hierzu gewöhnlich von Messing gegossene kurze Rohrstücke eingesetzt. Da die letztern den gleichen innern Durchmesser wie die beiderseits anliegenden Wasserleitungsröhren haben müssen, und auch der Hahn in seinem ganz geöffneten Zustande dem Wasser einen ungehinderten Lauf gewähren muss, so folgt von selbst, dass jeder Hahn folgende Eigenschaften haben müsse: 1tens muss die Oeffnung in demselben so gebohrt seyn, dass das Wasser bei seinem Durchflusse keinen Widerstand findet. 2tens muss derselbe sich vollkommen schliessen und dem Wasser nirgends einen Ausweg gewähren. 3tens muss die Absperrung des Wassers nach und nach geschehen, damit das Wasser, vorzüglich wenn es sich schnell in der Röhre bewegt, keine nachtheilige Rückwirkung und vielleicht sogar ein Zerspringen derselben bewirke. Je grösser die Hähne sind, desto schwieriger ist es, allen diesen Bedingungen Genüge zu leisten.

§. 169.

Die gewöhnlichste Gattung Hähne sind die Kegelhähne (*Robinets coniques*). Die Darstellung derselben ist Fig. 1 im Durchschnitte und der Vorderansicht, Fig. 2 aber im Grundrisse gezeichnet. Derselbe besteht aus dem messingenen Rohrstücke ABCD, in welches eine konische Oeffnung EFGH gebohrt ist. In diese Oeffnung passt ein messingener an seinem Umfange gut abgedrehter Kegel JEFLMGHK, welcher mittelst des Hebels oder Schlüssels NO bewegt wird. Der Kegel ist in einer Richtung genau so dick wie die Röhre durchbohrt, und lässt daher im Falle diese Oeffnung wie Fig. 3 mit der Richtung der Röhre ABCD zusammenfällt, was sich leicht aus der Lage des Schlüssels NO beurtheilen lässt, dem Wasser einen ungehinderten Lauf; wird jedoch die Oeffnung in die Fig. 1 und 4 dargestellte Lage gebracht, so schliesst der Kegel den ganzen Wasserlauf ab. Damit der Kegel durch den Druck des Wassers nicht gehoben wird, ist unten eine Platte RS angebracht, welche durch den Keil TU angezogen und dadurch der Kegel, wenn er sich allenfalls schon ausgeschliffen hätte, etwas herabgezogen und seine genaue wasser-

Fig. 1 und 2. Tab. 49. — Fig. 3. — Fig. 4.

dichte Schliessung wieder bewirkt wird. Doch müsste in diesem Falle die Oeffnung im Hahne an ihrem obern Theile erweitert werden, um keine Verengung des Wasserlaufes zu verursachen. Dieser Hahn wird gewöhnlich nur bei Leitungsröhren von einigen Zollen im Durchmesser gebraucht; bei Röhren von 10 oder mehr Zoll im Lichten wird seine Bewegung schwierig und es verliert sich wegen Mangel des genauen Schlusses viel Wasser.

Für diese grössern Röhrenleitungen hat Herr *Girard* in Paris einen Kegelhahn mit Getriebe vorgeschlagen, welcher Fig. 5 und 6 dargestellt ist.

Dieser Hahn besteht wie der vorige aus einem messingenen Rohrstücke ABCD, an welches das Gehäuse EFGH zur Aufnahme des durchbohrten Kegels angegossen ist. Dieses Gehäuse wird oben und unten mit zwei Platten JK und LM geschlossen, zu welchem Behufe an dem Halse des Gehäuses der im Grundrisse Fig. 6 ersichtliche Rand mit sechs Lappen f, f.... angegossen ist; diese fallen mit gleichen, an den Platten JK und LM befindlichen Lappen zusammen. Zwischen den Platten und dem Rande des Gehäuses werden lederne Scheiben, die in warmen Unschlitt getränkt wurden, eingelegt, die 6 Lappen mittelst der durchgehenden Schrauben angezogen und auf diese Art der wasserdichte Schluss bewirkt. Fig. 5 und 6. Tab. 49.

In das Gehäuse passt ein abgedrehter genau eingeriebener Kegel, dessen Durchschnitt aus Fig. 5 ersichtlich ist. An die obere Fläche dieses Kegels ist eine zylindrische Achse N, welche durch die obere Platte JK geht und sich ausserhalb derselben in ein Sechseck endigt, angegossen. An dieses Sechseck ist das gezähnte gusseiserne Stirnrad OP aufgesteckt, welches durch zwei eiserne Getriebe O und P mittelst Kurbeln umgedreht und dadurch der Kegel in dem Gehäuse verwendet wird. Bei dem Durchgange der beschriebenen zylindrischen Achse N durch die obere Platte JK sind abermals in Unschlitt getränkte Lederplatten eingelegt, um einen wasserdichten Schluss zu bewirken. Der schmiedeiserne Rahmen QRST dient sowohl, um den zwei Kurbelachsen, welche unten aufstehen, die Stützpunkte für ihre Umdrehung zu geben, als auch um der Druckschraube U als Mutter zu dienen. Mittelst dieser Schraube wird der Kegel nach Bedürfniss herabgedrückt und mit der entgegengesetzten Schraube V von unten gehoben; diess letztere geschieht, wenn der Hahn herausgenommen werden soll.

Diese Konstrukzion ist etwas zu viel zusammengesetzt, kann aber in dem Falle gute Dienste leisten, wenn der Hahn nicht vollständig genug eingerieben ist.

§. 170.

Der Hahn mit Schuber (*Robinet à vanne, valve cock*), welcher vorzüglich bei den englischen Wasserleitungen im Gebrauche ist, ist Fig. 7 bis 16 dargestellt und besteht abermals aus dem messingenen Rohrstücke ABCD, welches an die Wasserleitungsröhren angeschraubt wird. Dieses Rohrstück ist jedoch aus zwei Theilen ABEF und GCDH zusammengesetzt, welche sowohl unter sich, als mit dem Deckel oberhalb FH durch Schrauben wasserdicht verbunden werden. Ober der Mitte dieses Deckels ist eine Stopfbüchse (*stuffing box*) angebracht, durch welche der zylindrische Theil IK Fig. 7 bis 16.

Fig. 7 bis 16. Tab. 49. der Schraube K L wasserdicht geht. Bei Umdrehung dieser Schraube wird ein Sattel oder eine Schraubenmutter M, und mittelst derselben der Schuber c d, welcher mit dem Sattel O P, wie Fig. 12 zeigt, verbunden ist, gehoben oder herabgedrückt. Bei dieser Bewegung bleibt nämlich die Schraubenspindel L K in ihrer Pfanne L ohne sich zu erhöhen oder zu erniedrigen, während der Sattel M bei Umdrehung der Schraube in den Gewinden derselben auf- und abgeht.

Der Sattel M ist zu beiden Seiten mit Nuthen versehen, welche in den Falz des hervorstehenden Randes O P (Fig. 12) passen, der an den Schuber angegossen ist. Da nun der Sattel M in diesem Ansatze O P sich mittelst der Nuth etwas hin- und herbewegen kann, so erhellet, wie mittelst dieser Einrichtung der Schuber durch den Druck des abzusperrenden Wassers in der Röhre horizontal verschoben und an die Mündung der Röhre bei G L (Fig 7) angedrückt wird; hierdurch wird nun auch der wasserdichte Schluss bewirkt, ohne dass ein Druck an die Schraube entstünde. Der Schuber kann sonach durch die Schraube L K, welche bei I mittelst eines Schlüssels umgedreht wird, sowohl auf- als abwärts gebracht, und hierdurch die Röhrenleitung nach Bedürfniss geöffnet und geschlosssen werden, und hierbei wird durch den Druck des Wassers und die mögliche horizontale Fortrückung des Schubers ein ganz genauer Schluss desselben an die entgegenstehende Platte bewirkt. Damit endlich die Reibung bei dem Aufziehen des Schubers nicht zu gross werde, sind sowohl an dem Schuber, als an den Platten, woran er sich auf und ab bewegt, kupferne Ringe, wie die Figuren zeigen, angebracht, welche nach Fig. 9 bei dem Gusse der messingenen Theile in die Form eingelegt werden.

§. 171.

Eine Röhrenleitung lauft selten in einer Ebene fort, sondern steigt und fällt mit den Strassen der Städte. Da sich nun aus dem Wasser bei seiner Bewegung in den Röhren häufig Luftblasen entwickeln, welche sodann den höchsten Theil der Röhrenleitung suchen, so kann es geschehen, dass die Luft sich in dem Scheitel einer solchen hinauf- und dann wieder herabgebogenen Röhrenleitung so sehr anhäuft, dass hierdurch die Bewegung des Wassers bedeutend vermindert wird. Die angehäufte Luft wird nämlich, je mehr sie durch das fliessende Wasser zusammengedrückt wird, auch einen desto grössern Gegendruck auf dasselbe ausüben. Hieraus ergibt sich die Nothwendigkeit, in jedem Falle, wo eine Röhrenleitung hinauf- und dann wieder herabgeht, an dem höchsten Punkte derselben eine Vorrichtung zur Auslassung der daselbst angehäuften Luft anzubringen.

Zu diesem Zwecke werden an diesen Punkten Luftständer (*ventouses*) angebracht. Fig. 1. Tab. 50. Die einfachste Gattung derselben ist Fig. 1 dargestellt, und besteht aus einem Rohre, welches bis zum *Niveau* des Wasserspiegels im Hauptbehälter (im Wasserthurme) sich erhebt. Dieses Rohr braucht nur sehr schwach zu seyn und kann zur Vorsicht, damit nichts in die Röhrenleitung hineinfällt, an seinem obern Ende etwas hinabgebogen werden. In Italien werden solche senkrechte Röhren mit einem Mauerwerke von der Stärke und Gestalt eines Rauchfanges eingeschlossen und dann *sfiatatori* genannt. Dieses Mittel ist zwar das einfachste, allein es lässt sich in der Regel nur im Freien oder in jenen

wenigen Fällen anwenden, wo die Druckhöhe des Wassers vom Hauptbehälter sehr gering ist. In Städten, wo gewöhnlich die *Reservoirs* oder Hauptbehälter auf hohen Thürmen liegen, kann diese Vorrichtung nicht gebraucht werden.

In solchen Fällen braucht man Luftständer mit einem Hahne oder einer Pipe (*Ventouse à robinet*). Diese bestehen aus einem kurzen Rohre a, welches mittelst des Hahnes b geöffnet oder geschlossen werden kann. Wird die Röhrenleitung mit Wasser angelassen, so muss der Hahn b geöffnet bleiben, damit alle Luft entweichen kann und darf daher erst, wenn Wasser hervorquillt, geschlossen werden. Wenn jedoch das Wasser einige Zeit hierauf durch seine Bewegung Luft mitführt und diese sich im Scheitel der Wasserleitungsröhre anhäuft, so muss der Hahn für einige Augenblicke wieder geöffnet und auf diese Art immer von Zeit zu Zeit verfahren werden. Diese Luftständer sind bei den Wasserleitungen in Paris im Gebrauche. Fig. 2. Tab. 50.

Der Luftständer, welcher Fig. 3 bis 5 dargestellt ist, wurde von dem *Chev. de Bettancourt* in Paris angegeben und von *Girard* bei den dortigen Wasserleitungen eingeführt; derselbe ist mit einem Schwimmer versehen und wird daher *Ventouse à flotteur* genannt. Er besteht aus dem zylindrischen kupfernen Gefässe A B C D von $^1/_5$ *meter* (7,6 Nied. Oest. Zoll) im äussern Durchmesser, und $^1/_3$ meter (12,7 Nied. Oest. Zoll) Höhe, welches mit der Wasserleitungsröhre durch das angegossene Rohrstück B C E F von $^1/_{10}$ *meter* Durchmesser mittelst Schrauben und dazwischen gelegten ledernen Scheiben wasserdicht verbunden ist. In dem Gefässe A B C D sind zwei Querstücke oder Traversen e angebracht und jede derselben mit einer kleinen Oeffnung in ihrer Mitte versehen. Durch diese Oeffnung geht eine metallene Stange f, welche an die hohle messingene Kugel M luftdicht festgemacht, und an ihrem obern Ende mit dem Kegel K versehen ist. Dieser Kegel passt genau in die Oeffnung i der Platte O P, welche auf das zylindrische Gefäss A B C D luftdicht befestigt ist. Die kupferne Kugel M schwimmt auf dem Wasser, welches durch die Wasserleitungsröhre in das Gefäss A B C D dringt, und dasselbe anfüllt. Wie jedoch Luftblasen durch das Rohr F E in das Gefäss hinaufsteigen und sich bei A D anhäufen, wird nach und nach auch der Wasserspiegel in dem Behältnisse A B C D und mit demselben die schwimmende Kugel M, demnach auch die Stange f herabgedrückt, die Oeffnung i frei, und die Luft entweicht. Ist diess geschehen, so füllt das Wasser den Raum wieder ein, der Kegel K schliesst die Oeffnung i, und so geht das Spiel fort. Fig. 3 bis 5.

§. 172.

Wenn eine Röhrenleitung einem Wasserbehälter, Röhrkasten oder Bassin Wasser zuführt, so wird am Ende derselben ein Hahn oder eine Pipe angebracht, womit man den Zufluss des Wassers ganz oder theilweise sperren kann. Damit jedoch das Wasser in dem Röhrkasten nicht überlaufe, wird eine zweite vertikale, gewöhnlich hölzerne oben offene Röhre in dem Wasserkasten befestigt, damit das überflüssige Wasser durch diese Ablassröhre (*tuyau de trop plein*) ablaufen und unten in den Kanälen oder Kloaken weiter fliessen könne. Diese Einrichtung findet gewöhnlich bei unsern Röhrkästen Statt, wo Uiberfluss an Wasser vorhanden ist. Ist diess

nicht der Fall, so kann man mittelst eines Hahnes oder Pipe mit Schwimmer (*Robinet à flotteur*) den Zufluss des Wassers aus der Röhrenleitung zweckmässig reguliren.

Fig. 6. Tab. 50. Diese Vorrichtung ist Fig. 6 dargestellt und besteht aus einer metallenen hohlen Kugel, welche mittelst einer eisernen Stange an den Hahn von Aussen angesteckt wird. Je mehr sich das Wasser im Behälter und mit demselben die auf seiner Oberfläche schwimmende Kugel senkt, desto mehr öffnet sich der Hahn und läuft demnach auch mehr Wasser zu; ist jedoch der Röhrkasten ganz mit Wasser gefüllt, so bleibt auch der Hahn geschlossen und mit demselben der ganze Zufluss des Wassers abgesperrt.

Fig. 7. Man kann am Ende einer Röhrenleitung statt einer Pipe auch ein Ventil mit Schwimmer (*soupape à flotteur*) anbringen. Mittelst des mit einer schwimmenden hohlen Kugel verbundenen eisernen Hebels wird nun die Oeffnung am Ende der Röhrenleitung abermals so viel gehoben, dass das Wasser im Behälter fortwährend auf gleicher Höhe sich erhält.

§. 173.

Es kommt zuweilen noch der Fall vor, dass man die Wassermenge, welche z. B. in einer Fabrik in einer bestimmten Zeit benöthigt wird, genau zu kennen wünscht. Kann die Messung des zufliessenden Wassers nicht in dem Zuleitungsgraben auf eine Art geschehen, welche im vorigen Kapitel beschrieben wurde, oder hat man keinen hinreichend grossen Behälter, um die Wassermenge wenigstens durch einige Minuten aufzufangen und nach ihrem kubischen Inhalte zu berechnen, so kann man sich auch eines hydraulischen Wassermessers (*Compteur hydraulique*) bedienen. Derselbe kann auf verschiedene Art eingerichtet werden. Fig. 8 und 9 enthalten die Darstel-

Fig. 8 und 9. ung eines solchen Apparates, welcher in dem bereits früher erwähnten Werke: „*Essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux par M. Genieys, Paris* 1829" sich vorfindet. Die Wasserleitungsröhre A führt das Wasser in ein zylindrisches Gefäss B, dessen vertikale Wand auf gleicher Höhe mit 10 Oeffnungen von ganz gleichem Durchmesser durchbohrt ist. Neun Oeffnungen führen das Wasser in den grossen Behälter C, von wo aus es durch die Röhre D seiner Bestimmung in der Fabrik zugeführt wird. Aus der zehnten Oeffnung a läuft jedoch das Wasser in ein zweites vertikales zylindrisches Gefäss E, welches demnach nur den zehnten Theil der durch die Röhre A zufliessenden Wassermenge oder $\frac{M}{10}$ erhält. In diesem zweiten Gefässe sind abermals 10 Oeffnungen von gleichem Durchmesser auf derselben Höhe gebohrt, und aus 9 derselben läuft das Wasser in den Hauptbehälter C und durch die Röhre D in die Fabrik. Die zehnte Oeffnung b, welche demnach nur $\frac{M}{100}$ fortführt, leitet das Wasser in ein drittes zylindrisches Gefäss F, welches auf gleiche Art mit 10 Oeffnungen von gleicher Grösse versehen ist, wovon nur eine, nämlich c das Wasser in ein geschlossenes Behältniss G führt. Hieraus ist ersichtlich, dass das in G zuströmende Wasser nur der 1000ste Theil derjenigen Wassermenge seyn werde, welche durch die Hauptröhre A zufliesst.

Es handelt sich nun, das in G zugeflossene Wasser auf eine leichte und verlässliche Art zu messen. Zu diesem Behufe ist ein Schwimmer H an einem metallenen Faden befestigt, welcher über die feste Rolle K geht und an seinem andern Ende mit einem kleinen Gegengewichte L versehen ist. An dem letztern ist ein horizontaler Zeiger angebracht, dessen Spitze an dem Masstabe MN, welcher nach dem Inhalte des Gefässes G berechnet und eingetheilt ist, genau sogleich den kubischen Inhalt des in G befindlichen Wassers anzeigt. Ist der Behälter G bereits ganz gefüllt, so wird derselbe mittelst eines Hahnes abgelassen und kann neuerdings zur Messung des zugeflossenen Wassers gebraucht werden. Fig. 8 und 9. Tab. 50.

Es ist leicht begreiflich, dass man denselben Zweck auch auf eine andere Art erreichen könne. Wir glauben zu diesem Behufe auf die Konstrukzionen derjenigen Apparate hinzuweisen, welche zur Messung des Gases bei den Beleuchtungen der Gebäude von den Unternehmern dieser Anstalten zu dem Behufe gebraucht werden, um genau die in einer bestimmten Zeit verbrannte Menge Gas zu kennen. Diese Beschreibungen sind in dem Werke von *Accum* über Gasbeleuchtung, welches Herr *Lampadius* in das Deutsche übersetzt hat, und in mehreren über die Gasbeleuchtung bekannt gemachten Schriften zu finden.

§. 174.

Die §. 162 bis §. 173 beschriebenen Röhren, Hähne, Luftständer, Regulatoren und Wassermesser sind jene Theile, aus welchen eine Röhrenleitung bestehen kann. Wir kommen daher zu der Beschreibung des praktischen Verfahrens, welches man bei der Anlage einer Wasserleitung zu beobachten hat. Hierbei ist vor allem die Prüfung des Wassers oder die Wasserprobe, dann der Wasserbedarf, welchen eine Röhrenleitung für eine bestimmte Populazion oder zu einem bestimmten Gebrauche zu geben hat, und die praktische Anlage der Leitung selbst von dem Punkte aus, wo die Wässer gefangen werden, zu berücksichtigen.

Das Wasser, welches in Röhrenleitungen fortgeführt wird, ist entweder Flusswasser oder Quellwasser. Beides muss in der Regel vor seinem Gebrauche geprüft werden, um sich zu überzeugen, ob es keine der Gesundheit oder dem beabsichtigten technischen Zwecke nachtheiligen Bestandtheile besitze. Bei fliessendem Wasser, vorzüglich bei kleinen Flüssen oder Bächen ist zu sehen, ob dieselben durch Teiche, durch Binnenseen oder durch andere stagnirende Gewässer gehen, in welchen eine starke Vegetazion Statt findet. Bei solchen Wässern ist dann zu untersuchen, ob sie nicht organische Substanzen aufgelöst enthalten, welche entweder dem Wasser einen widerwärtigen Geschmack beibringen, oder welche dasselbe in kurzer Zeit zur Fäulniss disponiren können. Solche Wässer sind untauglich, und der Gesundheit nachtheilig. Das Wasser wird in Hinsicht auf organische Substanzen auf folgende Art geprüft: Man schüttet in ¼ Mass von einem solchen Wasser einige Tropfen salpetersauern Silberoxyd. Entsteht durch diesen Zusatz sogleich ein gefärbter flockiger Niederschlag, so enthält ein solches Wasser verhältnissmässig zu der Menge dieses Niederschlags auch eine grössere oder kleinere Menge organische Substanzen. Wäre jedoch der Niederschlag bei seiner Entstehung weiss, und würde erst nach einiger Zeit schwarz er-

scheinen, so deutet dieses nicht auf das Vorhandenseyn einer organischen Substanz, sondern auf das Daseyn eines salzsauren Salzes.

Bei Brunn- oder Quellwässern hat man zu sehen, 1tens ob das Wasser klar ist, 2tens ob es einen besondern oder widerwärtigen Geruch hat, in welchem Falle es nicht zu brauchen wäre, 3tens ob es hartes oder weiches Wasser ist. Hartes Wasser wird jenes genannt, worin Hülsenfrüchte sich nicht oder nur schwierig weich kochen lassen, und welches mit Seife nicht oder nur schwierig schäumt. Im weichen Wasser dagegen kochen sich Hülsenfrüchte leicht und schäumt die Seife. Es gibt verschiedene Grade der Härte des Wassers, welches sich in Brunnen oder Quellen vorfindet. Für technische Anwendungen, z. B. Bräuhäuser, Färbereien, Brandweinbrennereien, Papierfabriken u. d. m. ist ein Wasser nicht zu brauchen, welches in höherem Grade zu den harten Wässern gehört. Das einfachste Mittel ein Wasser in dieser Beziehung zu prüfen ist folgendes: Man nimmt z. B. ½ Mass hiervon, setzt es in einer ganz reinen kupfernen Pfanne oder in einem porzellänen Teller auf einen Stubenofen, lässt das Wasser allmählich, ohne dass es jedoch zum Sieden kommt, verdampfen, und wiegt den Rückstand, der hiernach übrig bleibt. Beträgt dieser Rückstand mehr als ½ Quentchen, so gehört das Wasser schon zu den sehr harten Wässern. Wäre das Gewicht des Rückstandes geringer, z. B. ¼ Quentchen, so kann es noch als brauchbar angesehen werden. Ausserdem kann man die Brauchbarkeit eines Quellwassers auch daraus beurtheilen, dass man in ½ Mass desselben ½ Loth Seifengeist schüttet. Ist die Trübung, die dadurch in dem Wasser entsteht stark, sondert sich eine beträchtliche Menge eines weissen Rahmes auf der Oberfläche des Wassers ab, so gehört es gleichfalls zu den sehr harten, und ist daher zu technischen Zwecken nicht brauchbar.

Man sieht nun leicht, in welchen Fällen ein Wasser als brauchbar angesehen werden könne. Uibrigens hat man die Beschaffenheit eines Wassers in Sanitätshinsicht auch dadurch beurtheilen wollen, ob die in der Nähe desselben wohnenden Menschen stark, von frischer Gesichtsfarbe, ohne triefenden Augen und ohne Fusskrankheiten seyen; allein diese Umstände liegen häufig in andern Lebensverhältnissen, als dass man hieraus allein auf die Beschaffenheit des Wassers schliessen könnte.

§. 175.

Der Wasserbedarf, welchen eine Wasserleitung für einen bestimmten technischen Zweck oder für die Populazion eines Ortes zu liefern hat, muss in jedem vorhandenen Falle entweder gegeben seyn, oder nach ähnlichen Fällen durch die Erfahrung ausgemittelt werden. Der Bedarf des Wassers für einen technischen Zweck oder für eine Fabrik lässt sich im Allgemeinen nicht bestimmen, da er sich nach dem Betriebe derselben richtet. Was jedoch den Wasserbedarf für die Einwohner der Ortschaften betrifft, so liegen hierüber bestimmte Erfahrungen vor. Der kleinste Bedarf findet auf Seeschiffen Statt, wo man täglich 1¼ *Barriques de Bordeaux* auf 100 Mann rechnet; da nun 4 *Barriques* (Oxhoft) = 1 *Tonneau* = 4.3,931 N. Oe. Eimer zu 41 Mass = 644,684 N. Oe. Mass, so gibt diess täglich per Kopf 2 N. Oe. Mass; hiervon dient eine Hälfte zum Getränk und die andere zum Kochen. In den *Oeuvres posthumes* von *Cormontaigne tome III*, wird angeführt, dass in festen Plätzen zum Trinken, Kochen und Waschen

täglich $^1/_{10}$ Kubikfuss per Kopf benöthigt werden, wogegen *Hoyer* in seinem Wörterbuche der Kriegsbaukunst $^1/_6$ Kubikfuss oder 4 N. Oe. Mass fordert. Herr *Franz Weiss*, Major im k.k. Ingenieurs-Corps, führt in seinem Lehrbuche der Baukunst II. Band, Seite 55 an, „dass die letztere Angabe von 4 N. Oe. Mass per Kopf durch eine vieljährige Erfahrung der Bewohner jener Vorstädte Wiens, die ihr Wasser kaufen müssen, vollkommen hinreichend verbürgt wird, dass jedoch der Wasserbedarf für die Broderzeugung hierunter nicht begriffen ist. Wird auch diese berücksichtigt, so benöthigt man täglich $^1/_5$ Kubikfuss per Kopf, welches für alle wahren Bedürfnisse mehr als genügt; selbst die Evaporazion des Wassers bedarf dann keiner Beachtung". Endlich sagt derselbe Schriftsteller, dass man für zwei Kinder so viel als für einen Mann, nämlich $^1/_5$ Kubikfuss, für ein Militärdienstpferd und für einen Schlachtochsen aber 1 Kubikfuss Wasser täglich benöthigt. Auf diese Art lässt sich nun der jährliche Verbrauch ausmitteln, und darnach der Kubikinhalt der Cisternen in festen Plätzen anschlagen. In demselben Werke Seite 49 wird jedoch gesagt: „Soll eine Wasserleitung allen, sogar den unbillig scheinenden Forderungen in Städten Genüge leisten, so muss sie binnen 24 Stunden drei Fünftel Kubikfuss Wasser für jede Seele der Bevölkerung liefern".

Herr *Genieys* führt in seinem *Essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux, Paris* 1829, Seite 153 an, dass man in Frankreich gewöhnlich für 1000 Einwohner täglich 19195 *Litres* oder einen Wasserzoll (*pouce d'eau*) rechnet. Da nun 1 *Litre* 1 Würfel ist, dessen jede Seite $\frac{1}{10}$ *metre* misst, demnach $\frac{1}{1000}$ Kub. *metre* $= \frac{(3{,}1635)^3}{1000}$ N. Oe. Kubikfuss $= 0{,}03166$ N. Oe. Kubikfuss enthält, so gibt der Bedarf von $19{,}195$ *Litres* beinahe $0{,}6$ N. Oe. Kubikfuss für eine Person täglich. Hiemit stimmt auch die Wasserkonsumzion, welche der Herr Inspektor *Hoffmann* in seinem öffentlich erschienenen Berichte über die Anlage einer neuen Wasserleitung zu Frankfurt a. M. (1827, Seite 29) anführt.

Dagegen wird in der *Notice historique sur le projet d'une distribution générale d'eau a domicile dans Paris, et exposé de détails y relatifs, recueillis dans différentes villes du royaume-uni, notamment à Londres, par C. F. Mallet, ingénieur en chef de première classe au corps royal des ponts-et-chaussées, Paris* 1830, Seite 80 angeführt, dass nach den an Ort und Stelle gemachten Erhebungen während zwei zu diesem Zwecke im Jahre 1824 und 1829 unternommenenen Bereisungen Englands, die Wassermenge, welche täglich durch eigene Akziengesellschaften an die Einwohner vertheilt wird, in *London* 80 *Litres*, in *Manchester* 44 *Litres*, in *Liverpool* 27,5 *Litres*, in *Glasgow* 100 *Litres*, in *Greenock* 56,5 *Litres* und in *Edinburgh* 61 *Litres* beträgt. Das Mittel aus diesen Erfahrungen gibt 61,5 *Litres* per Kopf der ganzen Populazion (die Kinder mit eingerechnet) oder 1,95, demnach beinahe 2 N. Oe. Kubikfuss täglich.

Dieser Bedarf ist 10 mal grösser als der oben angegebene von $^2/_{10}$ Kubikfuss; es muss jedoch bemerkt werden, dass in den vorangeführten englischen Städten keine oder nur sehr wenige öffentliche Brunnen vorhanden sind, wo die Einwohner das Wasser unentgeltlich holen können; endlich darf man keineswegs ausser Acht lassen, dass die Reinlichkeit der Bewohner Englands viel grösser sey, als es auf dem ganzen Kontinente von Europa und namentlich in Frankreich der Fall ist. Wer das Innere von Frankreich und England bereist hat, begreift leicht, warum ein Franzose im Durchschnitte

nur $^{6}/_{10}$ Kubikfuss, ein Engländer aber 1,95 Kubikfuss täglich bedarf, wobei noch zu erinnern ist, dass in England meistens Bier, in einem grossen Theile von Frankreich aber nur Wein getrunken unh demnach in diesem Verhältnisse weniger Wasser für einen Menschen benöthigt wird. Die Engländer baden sich sehr oft zu Hause und halten viel auf reine Wäsche, was bei weitem nicht in diesem Masse in den französischen Städten und selbst in Paris der Fall ist. Uiberhaupt richtet sich der Wasserbedarf auch nach dem allgemeinen Wohlstande eines Ortes; je wohlhabender die Einwohner sind, desto mehr Wasser wird benöthigt, je ärmer und unreiner dieselben leben, desto weniger Wasser wird erfordert. Man hat in Prag die auffallende Erfahrung gemacht, dass seit 10 bis 15 Jahren weit mehr Röhrenwasser benöthigt wird, als es die Zunahme der Populazion erfordern würde. Als Ursache hiervon wird das Tragen weisser Kleider statt den früher üblichen dunkeln Kalikos, die zunehmende Blumenliebhaberei und überhaupt die zunehmende Reinlichkeit der hiesigen Einwohner, vorzüglich unter der ärmeren Klasse angegeben.

Aus allem dem ergibt sich, dass man kein bestimmtes Kubikmass Wasser als den nothwendigen täglichen Bedarf für eine bestimmte Populazion angeben kann, sondern dass diess lediglich nach der gewohnten Lebensweisse, dem Grade der Reinlichkeit und überhaupt nach den vorhandenen Ortsverhältnissen bemessen werden müsse.

§. 176.

Wenn der Wasserbedarf auf die angeführte Weise ausgemittelt ist, so kann derselbe entweder aus einem fliessenden Wasser oder aus Quellen dem betreffenden Orte zugeleitet werden. Bei dieser Leitung kann das Wasser, wenn es aus einem höhern Orte herabgeführt wird, entweder durch die in der Natur vorhandene Druckhöhe (das Gefälle) zufliessen, oder es wird mittelst Maschinen in einen höhern Behälter gehoben, und fliesst von dort mittelst der vorhandenen Druckhöhe durch Röhren an die Orte seiner Bestimmung.

Wir wollen zuerst den einfachsten Fall behandeln, und daher annehmen, dass z. B. eine Wasserleitung für ein Bräuhaus, ein herrschaftliches Gebäude, eine Fabrik oder selbst einen Ort aus höher liegenden Quellen geführt werden soll. Sind die Quellen aufgefunden, das Wasser geprüft und brauchbar, so wie in hinreichender Menge befunden, so muss in den meisten Fällen erst eine W a s s e r k l ä r u n g vorgenommen werden. Zu diesem Behufe wird gewöhnlich ein kellerartiges gewölbtes Häuschen errichtet, welches Fig. 10 im Quer- und Fig. 11 im Längendurchschnitte dargestellt ist. Das Wasser läuft durch den Steinhaufen a, und die Oeffnung b in das Behältniss c, welches mit Quarzsand oder einem scharfen im Wasser unauflösbaren eckigen kleinen Schotter angefüllt ist. Weil das Wasser zwischen diesen Oeffnungen sehr langsam fliessen muss, so setzt es alle erdigen Theile, die es mit sich führt, ab, und es fliesst ganz rein durch die Oeffnungen d, d.... in den gewölbten unterirdischen Kanal e weiter. Um das Einfrieren zu vermeiden, wird dieses Häuschen ganz mit Erde bedeckt, und der unterirdische Kanal in der gehörigen Tiefe angelegt. Der Kanal geht nun bis zunächst der Fabrik oder Ortschaft fort und führt das Wasser daselbst in ein zweites Gebäude, W a s s e r s c h l o s s (*Chateau d'eau*) genannt, worin das Wasser einer neuen Klärung unterworfen, und von da aus in einer oder mehreren Hauptröhren seiner Bestimmung zugeführt wird. Im Wasserschlosse sind

(Fig. 10. und 11. Tab. 50.) (Fig. 12 und 13.)

gewöhnlich eine oder mehrere gemauerte Scheidewände a b angebracht, so dass das Wasser aus dem gewölbten Kanale in den Behälter A, von da über die Scheidewand bei a in den Behälter B und so allenfalls noch in einige Behälter fliesst. Die Ruhe, in welcher sich das Wasser in jedem Behälter befindet, macht es möglich, dass sich die Schlammtheile, welche dasselbe mit sich führt, nach und nach absetzen und dass das Wasser in dem letzten Behälter, von wo die Hauptröhren ausgehen, vollkommen gereinigt und für den Gebrauch geeignet, ansammelt. Eine jede Hauptröhre ist mit einem durchlöcherten Seiher m versehen, damit keine zufälligen im Wasser schwimmenden Theile, z. B. Holzstücke, in dieselbe gelangen können. Um den Wasserzufluss ganz oder theilweise sperren zu können, ist zunächst dem Seiher ein Hahn oder Pipe angebracht. In kalten Klimaten wird das Wasserschloss ganz mit Erde bedeckt und die Oeffnung zur Thüre und allenfalls einem Fenster bei eintretender Winterszeit ebenfalls mit Dünger bedeckt.

Fig. 12. und 13. Tab. 50.

Welches Gefälle der beschriebene unterirdische Kanal erhalten müsse, um die Wassermenge mit der erforderlichen Geschwindigkeit fortzuführen, wird im nächsten Kapitel behandelt werden. Da jedoch die Anlage der Wasserleitungen zu den wichtigsten technischen Unternehmungen gehört und bei Zunahme der Kultur und des Wohlstandes immer mehrere solche Anlagen zur Ausführung kommen, so glauben wir, dass es für unsere Leser von Interesse seyn wird, die Beschreibung der Wasserleitungen in mehreren grössern Städten zu erhalten. Wir wollen zu diesem Behufe zuerst die Wasserleitungen von Prag, dann jene von Paris und zuletzt jene der vorzüglichsten Städte in England und Schottland liefern.

§. 177.

Die Wasserleitungen in Prag sind von zweifacher Art: I. Die W a s s e r l e i t u n g f ü r d a s k. k. S c h l o s s, welche das Wasser aus höher liegenden Gegenden mittelst des natürlichen Gefälles herabführt. II. Die W a s s e r l e i t u n g f ü r d i e d r e i, an beiden Moldauufern gelegenen P r a g e r S t ä d t e, wo das Moldauwasser mittelst Druckwerken in Behälter auf Thürmen (Wasserthürmen) getrieben, und von dort mittelst herabgehender Röhren den verschiedenen Stadttheilen zugeführt wird. Die ersteren stehen unter der Leitung des k. k. Hofbauamtes, die zweiten unter dem Bauamte des k. Magistrates.

I. Uiber die k. k. Schlosswasserleitungen hat uns der Herr Hofbauamtsverwalter *Wenzl Kraus* nachstehende Mittheilungen geliefert. Der sämmtliche Wasserbedarf für das k. k. Schloss, den Hradschin und den höher liegenden Theil der Kleinseite wird A. aus einer Q u e l l w a s s e r l e i t u n g und B. einer T e i c h w a s s e r l e i t u n g geliefert.

A. Die Q u e l l w a s s e r l e i t u n g hat ihren Ursprung in der nördlich abdachenden Berglehne, welche sich von dem Dorfe *Libotz* über *Welleslawin* bis zu dem Dorfe *Trzeschowitz* herabzieht. Daselbst sind nämlich in verschiedenen Entfernungen von einander s i e b e n bergmännisch ausgebaute S t o l l e n g ä n g e eingeschlagen, in welchen die vorhandenen Wasserquellen in geschlossenen Röhren gefasst und in zwei Hauptröhrenzügen zusammengeführt werden; die letztern sind abwärts von dem Dorfe *Trzeschowitz* bei dem erlangten bedeutendern und durch keine Verfallungen mehr unterbrochenen Gefälle in einen einzigen Hauptröhrenzug vereinigt. Obwohl die ursprüngliche Anlage

dieser mit bedeutendem Kostenaufwande zum Theil in Sandsteinlagen ausgebrochenen Stollengänge, welche vormals bloss ausgezimmert waren, in der neuern Zeit aber überwölbt wurden, im Verlaufe der Jahre von 1540 bis 1573 nachgewiesen wird, so lässt sich doch mit voller Wahrscheinlichkeit annehmen, dass schon viel früher eine Röhrenwasserleitung in die k. k. Burg bestanden hat, wie es schon die auf dem Springbrunnen im dritten k. k. Burgplatze vorhandene bronzene Statue, den h. Georg zu Pferde vorstellend, welche im Jahre 1373 angefertigt wurde, bewährt. Man kann hiernach und aus andern alten Urkunden auf einen mehr als 400jährigen Bestand der k. k. Schlosswasserleitung schliessen.

Die Länge dieser Wasserleitung von dem ersten nächst dem Dorfe *Libotz* unter dem sogenannten k. k. Sternthiergarten bestehenden Quellwasserstollen bis an den Schanzengraben der k. Hauptstadt Prag gemessen, beträgt 2500 N. Oe. Klafter. Wenn jedoch hierzu die Zuleitungsweiten aus den übrigen sechs Quellstollen bis an die Hauptröhren zusammen mit 230 Klaftern, und der geführte zweite Hauptröhrenzug in der Länge von 770 Klaftern mit gerechnet werden, so ergibt sich die gesammte Länge dieser Röhrenleitungen schon ausserhalb der Stadt mit 3500 Klaftern, welche Länge durch den, über den Schanzgraben in die Stadt bis in die k. k. Burg gelegten Hauptröhrenzug, und durch die von demselben ausgehenden Ableitungen noch bedeutend vermehrt wird.

Diese Wasserleitung liefert den Bedarf an klarem Wasser für die k. k. Burg, und nebst dem hradschiner k. Damenstift werden noch hiermit 14 auf dem Hradschin und auf der Kleinseite gelegene Privathäuser betheilt, und aus der k. k. Burg wird dieses Quellwasser in die auf der Kleinseite gelegenen k. k. Dikasterialgebäude herabgeleitet, in welchen letztern ebenso wie in der k. k. Burg mit diesem stets rein gehaltenen Wasser auch die wegen Feuersicherheit vorgerichteten Bodenwasserdruckwerke versorgt werden.

Diese Wasserleitung wird sogleich von dem Quellursprunge in geschlossenen Röhren von 2½ Zoll Durchmesser im Lichten der Bohröffnung fortgeführt. Die Röhren waren früher von Holz, sind jedoch gegenwärtig grösstentheils durch gusseiserne von gleichem Durchmesser ersetzt. Diese Röhren sind 5 bis 6 Fuss unter der Erdoberfläche eingegraben, jede zu einem Hahn führende Oeffnung wird so wie sämmtliche Röhrständer im Winter mit Dünger bedeckt, und so geschieht es, dass das Wasser in dieser Röhrenleitung, welche überdiess einen sehr bedeutenden Fall hat, nie einfriert. Die gusseisernen Röhren, welche innerhalb der Stadt bereits beinahe durchaus liegen, sind sämmtlich ohne angegossenen Muffen und ihre Verbindung wird durch eine über je zwei Röhren zur Hälfte geschobene Muffe (Uiberschubring) von 4 Zoll Länge dadurch bewirkt, dass der Zwischenraum oder das Ende einer jeden Röhre auf 2 Zoll Länge mit Hanf umwickelt, hierauf mit einem Kitt überstrichen und die Muffe noch beiderseits mit hölzernen Keilen fest gemacht wird. Dieser Kitt wird aus Wagentheer, ungelöschtem gepulvertem Kalk und Ziegelstaub verfertigt und erhärtet binnen sehr kurzer Zeit.

Seit mehreren Jahren werden auch, jedoch nur ausserhalb der Stadt und zu den Nebenleitungen im k. k. Schlossgarten in jenen Röhrenleitungsstrecken, welche keinen bedeutenden Druck auszuhalten haben, statt der mangelbar gewordenen hölzernen Röhren, festgebrannte thönerne Röhren mit gutem Erfolge verwendet. Der Durchmesser im Lichten derselben beträgt 2½ bis 2 Zoll, ihre Länge 5 Fuss, ihre Stärke

$^1/_4$ Zoll. Bei einem Versuche, welcher mit diesen Röhren vor einigen Jahren im sogenannten Hirschgraben gemacht wurde, war eine Druckhöhe von beiläufig $8^1/_2$ Klafter vorhanden; die thönernen Röhren hielten diesen Druck aus, allein nach einem Jahre sprang eine derselben. Die Verbindung dieser Röhren geschieht wie bei den gusseisernen mittelst gegossener Uiberschubringe.

Was die Reinigung dieser Quellwasserleitungen betrifft, so genügt es, da die Röhren nie inkrustirt werden, sie von Zeit zu Zeit durchzuspülen, welches dann mittelst Ziehung der an den niedrigen Stellen der Röhren angebrachten Lüftungszapfen bewirkt wird. Die Einfachheit dieser Wasserleitung, welche bei ihrem uralten Bestande stets ununterbrochen gebraucht wurde, gibt derselben auch einen entschiedenen Vorzug vor jeder andern künstlichen Wasserleitung.

§. 178.

B. Die Teichwasserleitung für das k. k. Schloss hat ihren Ursprung aus der quellenreichen Gegend oberhalb der Dörfer *Littowitz* und *Bržwe* auf der Herrschaft *Tachlowitz* im Rakonitzer Kreise. Mehrere in der dortigen Lage bestehenden Wasserteiche und vorzüglich der bei dem Verkaufe des ehemaligen k. k. Kammergutes *Littowitz* vorbehaltene Hauptteich sichern dieser Wasserleitung zu allen Zeiten den hinlänglichen Wasservorrath, zumal als die dortigen vielen, schon aus den Wiesengründen, oberhalb der zur Herrschaft *Horomieržitz* gehörigen Dorfes *Chegn*, sich sammelnden Zuflussquellen selbst in der trockensten Jahreszeit stets gehörig ergiebig bleiben. Von dem genannten *littowitzer* k. Reservatteiche wird die Wasserleitung in einem offenen Graben in der Thalfläche durch die Dörfer *Hostiwitz*, *Russin* und *Libotz* auf einem 4000 N. Oe. Klafter langen Wege bis in den, unter Kaiser Rudolph II. im Jahre 1585 nächst dem Dorfe *Libotz* angelegten k. Reservatteich geführt. Von hier wird das für die k. k. Schlosswasserleitung benöthigte Wasser mittelst Regulirung der eigends für diesen Zweck unterhaltenen Wasserschütze durch eine in dem Teichdamme eingelegte Röhre in den von diesem Teiche ausgehenden Schlosswasserleitungsgraben erst abgegeben. Dieser vom *libotzer* k. Reservatteiche am Fusse der Berglehne gegen das Dorf *Welleslawin* und weiter abwärts neben dem Dorfe *Tržeschowitz* bis an den Schanzengraben der k. Hauptstadt Prag auf die Anhöhe zwischen dem Reichs- und dem Karlsthore geleitete Wassergraben ist nach der Angabe des berühmten Mathematikers *Tycho de Brahe* angelegt worden und misst nach dem vorbezeichneten in verschiedenen Krümmungen nach Massgabe des natürlichen Gefälles ausgemittelten Wege 2500 N. Oe. Klafter.

Die Ausmündung dieses offenen Wasserleitungsgrabens findet vor dem Schanzengraben auf der erwähnten Stelle in einem unterirdisch angebrachten Wasservertheilungskasten (von den Franzosen *Chateau d'eau* genannt) Statt. Aus diesem Behältnisse werden vier, und aus dem vorgebauten Wassersammlungsgerinne zwei, daher zusammen sechs Röhrenzüge fortwährend gespeist. Sämmtliche Röhren haben $2^1/_2$ Zoll im lichten Durchmesser und es sind diese Röhrenleitungen von dem Wasservertheilungskasten über dem Schanzgraben bis in die Stadt aus hölzernen (kiefernen) an den Einmündungen mit Seigern versehenen Röhren mittelst der gewöhnlichen eisernen Fügungsbüchsen zusammengesetzt, im Bereiche der Stadt aber gusseiserne Röhren angewendet. Diese sechs

Röhrenzüge führen das Wasser auf die k. k. Burgplätze, in die k. k. Hofstallungen, den k. k. Schlossgarten, die Reitschule u. s. w. und in die übrigen auf dem Hradschin gelegenen Hofgebäude, ferner in 12 auf dem Hradschin und in 7 auf der Kleinseite gelegene Fondsgebäude und Privathäuser, endlich werden zwei in der Spornergasse und ein auf dem wälschen Platze stehender Wasserbehälter hiervon ebenfalls mit Wasser versehen.

Auch diese ausgiebige Wasserleitung gewährt den Vortheil, dass sie nur äusserst selten zufriert. Wenn jedoch zuweilen der Wasserausfluss in der offenen Grabenleitung gefriert, so werden durch den für diese Leitung aufgestellten Aufseher mit Zuhülfnahme der erforderlichen Arbeiter sogleich die Schneewehen durchgearbeitet und die bis auf den Grund vereisten Orte in dem Grabengerinne aufgehauen.

Die Anlage des *libotzer* k. Reservatteiches, welcher bei seiner vollkommenen Anschwellung die Wasserleitung mit dem nöthigen Zuflusse durch einen längern Zeitraum versorgt, bis wieder ein neuer Zufluss aus dem *littowitzer* Hauptreservatteiche den Wasservorrath ersetzt, gewährt hier einen sehr grossen Vortheil, indem es zur Winterszeit nur nothwendig wird, die Elementarhindernisse bloss in der Strecke des Wasserleitungsgrabens von *Libotz* bis an den Prager Schanzengraben zu bekämpfen, welche Arbeit durch das bedeutende Gefälle dieses Grabens und durch seine regelmässige meistens mit hohen Ufern begränzte Anlage unterstützt wird.

Zur Verminderung der Verschlämmung des *libotzer* k. Reservatteiches besteht an demselben mittelst zweier Schützen an der Einmündung die Vorrichtung, dass nur dem reinen Wasser der Einfluss gestattet wird, alle Fluthwässer aber, welche Schlammtheile mit sich führen, durch einen Seitengraben gegen das Thal *Scharka* abgewiesen werden können. Längs der offenen Grabenleitung vom *libotzer* Teiche abwärts werden die Wildwässer entweder ganz abgeleitet, oder auf einem Umwege dann erst in den Wasserleitungsgraben eingelassen, wenn dieselben den mitführenden Schutt und Schlamm bereits abgesetzt haben. Zu Ende dieser offenen Grabenwasserleitung sind einige Schuttfangwehren (W a s s e r k l ä r e n) mit mehreren Scheidewänden angebracht, um die trüben Wässer zu läutern.

Zur gehörigen Unterhaltung und periodischen Räumung des Wasserleitungsgrabens vom *libotzer* Teiche an, so wie zur Besorgung des beständigen Wasserzuflusses ist ein eigener Grabenwärter angestellt; die Räumung des Wassergrabens vom *littowitzer* k. Haupt- bis zum *libotzer* k. Reservatteiche liegt aber den anrainenden Dominien ob. Um den *libotzer* Teich in seinem Kubikinhalte nicht verringern zu lassen, ist eine periodische Ausschlämmung desselben festgesetzt, welche jedoch wegen Sicherstellung der Schlosswasserleitung für den Winter, bloss während der wärmern Jahreszeit vorgenommen werden kann. Wenn dieser Teich trocken gelegt und die Ausschlämmung vorgenommen wird, muss der ununterbrochene Zufluss des für die k. k. Schlosswasserleitung benöthigten Wassers unmittelbar aus dem *littowitzer* k. Reservatteiche Statt finden, zu welchem Behufe um den *libotzer* Teich ein eigener Graben geführt ist.

Auch bei den in die Stadt geführten sechs Röhrenzügen, welche von dem beschriebenen Teichwasser gespeiset werden, und mit den vielen Ableitungen eine be-

deutende Verzweigung bilden, wird ausser dem gewöhnlichen Ausschlämmen mittelst Ziehung der Lüftungszapfen an den Röhren keine weitere Reinigung derselben benöthiget, da auch dieses zum häuslichen Gebrauche ganz dienliche und die Vegetazion der Gartengewächse sehr befördernde Wasser keine Inkrustirung der Röhren veranlasst.

Für das Nachsehen an den sämmtlichen Quell- und Teichwasser-Röhrenleitungen und für die Besorgung der diessfalls vorkommenden Wasserleitungsarbeiten ist ein Röhrmeister mit einem Gehülfen angestellt, welchen nach Bedürfniss die erforderlichen Handlanger beigegeben werden. Die Auslagen, welche diese Wasserleitungen verursachen, werden aus dem Fonde der k. k. Hofburgauslagen bestritten. Die Nebenleitungen, welche in die Privathäuser gehen, werden jedoch auf Kosten der betreffenden Eigenthümer unter Einwirkung des k. k. Hofbauamtes unterhalten. Wird ein Privatgebäude von der k. k. Schlosswasserleitung aus mit einer neu angelegten Nebenleitung versehen, so muss hierfür eine Einkaufsgebühr entrichtet werden. Ausserdem werden in diesem Falle und von mehreren mit Wasser bereits versehenen Häusern für den Bezug desselben noch jährliche Wasserzinse, nebstbei aber bei jeder eintretenden Besitzveränderung die sogenannte Legitimazionsgebühr entrichtet. Der Betrag dieser Gebühren ist sehr verschieden, im Ganzen aber nur unbedeutend. Die Wasserleitungen, welche in Privathäuser gehen, haben im Lichten der Röhren gewöhnlich einen Durchmesser von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll. Der Wasserzufluss in jedes Gebäude wird nach Massgabe seines Bedarfes und mit Rücksicht auf den eigenen Bedarf der k. k. Hofburg bemessen und durch die verschiedenen Bohröffnungen in den Hähnen (Wasserwechselwirbeln) und auch durch die Stellung dieser Hähne von dem hierzu aufgestellten Wasserleitungspersonale regulirt.

§. 179.

II. Die zweite Abtheilung der Wasserleitungen in Prag, welche ein Eigenthum der Stadtgemeinde ist und auf ihre Kosten durch das städtische Bauamt unterhalten wird, versieht die Altstadt, Neustadt und den grössten Theil der Kleinseite mit Wasser. Nachstehende Details hierüber verdanken wir der Mittheilung des Herrn Bauverwalters *Franz Melchior Dückelmann.*

Das sämmtliche Wasser, welches die drei Städte in Prag benöthigen, wird aus dem Moldauflusse mittelst Wasserdruckwerken, welche an den bestehenden Wehren angelegt sind, in Behälter oder *Reservoirs* auf Wasserthürmen gehoben, von wo es ohne einer weitern Reinigung unmittelbar durch Röhren in die Stadt geführt wird. Die Höhe des Wasserspiegels in den Behältern auf diesen Thürmen über dem Wasserspiegel im Moldauflusse ist zwar nicht überall dieselbe, beträgt aber an keinem Orte weniger als 16 und nirgends mehr als 21 N. Oe. Klafter.

Die Zeit, in welcher diese Wasserwerke angelegt wurden, lässt sich nicht bestimmt nachweisen. Es unterliegt jedoch keinem Zweifel, dass die Wehren in Prag hauptsächlich zum Behufe der Wasserdruckwerke, und nicht so sehr der Mühlen wegen angelegt wurden. Da es in der Gegend der Altstadt und Neustadt keine Teiche und Quellen gibt, folglich das Wasser auf solchem Wege nicht zugeleitet werden konnte, so musste man schon vor mehreren Jahrhunderten bedacht seyn, die Altstadt und später auch die Neu-

stadt mit Wasser zu versehen. Die Wehren und die an denselben liegenden Wasserdruckwerke wurden demnach erbaut, und da man eine hinreichende Kraft hatte, auch Mühlen an den Wehren angelegt. Alle diese Bauten wurden auf Kosten der Stadtgemeinde ausgeführt; um sich jedoch der Unterhaltungskosten der Mühlen zu entledigen, wurden dieselben später emphiteutisch oder gegen einen jährlichen Zins mit Vorbehalt des Dominium verkauft. Dass die Wehren schon vor Kaiser *Karl IV.* im vierzehnten Jahrhunderte angelegt wurden, erhellet daraus, weil dieser Monarch ein Patent über die Regulirung der Wehren zwischen Prag und Budweis hinsichtlich der Schiffahrt und des Mühlwesens erliess. Auch sollen zur Zeit *Karls IV.* die Neu-Mühlen angelegt worden seyn. Die sogenannten Schiffmühlen, die jetzt auch Wehren haben, sind unter König *Wenzeslaus* im Jahr 1396 anzulegen bewilligt worden.

Das altstädter Wasserwerk besteht aus zwei Druckwerken, deren jedes mit vier Stiefeln versehen ist; hiervon werden 13 öffentliche Röhrkästen, 11 öffentliche Gebäude und 70 Privathäuser mit Wasser versehen; dieses Wasserwerk führt demnach das Wasser in 94 Ableitungen in der Stadt.

Das Neu-Mühlen-Wasserwerk auf der Neustadt besteht gleichfalls aus zwei Druckwerken, wovon jedes mit vier Stiefeln versehen ist. Hiervon werden 9 öffentliche Röhrkästen, 7 öffentliche Gebäude und 47 Privathäuser mit Wasser versehen; dieses Wasserwerk hat demnach im Ganzen 63 Ableitungen.

Das Schüttkauer Wasserwerk auf der Neustadt besteht aus zwei Druckwerken jedes mit vier Stiefeln. Hiervon werden 10 öffentliche Röhrkästen, 20 öffentliche Gebäude und 84 Privathäuser, demnach zusammen 114 Orte mit Röhrwasser versehen.

Das kleinseitner Wasserwerk besteht ebenfalls aus zwei Druckwerken, die zusammen mit 7 Stiefeln versehen sind. Hiervon werden 5 öffentliche Röhrkästen, 8 öffentliche Gebäude und 31 Privathäuser, demnach zusammen 44 Orte mit Röhrwasser versehen.

Die *Reservoirs* (Kessel), welche, sich auf den Wasserthürmen befinden, halten im Durchschnitte 36 Kubikfuss Wasser. Aus diesen *Reservoirs* läuft das Wasser durch Ableitungsröhren in die Stadt, und zwar sind bei dem altstädter Wasserwerke 5 solche Röhren von 4 Zoll Durchmesser im Lichten, bei dem Neu-Mühlen-Wasserwerke 4 Röhren von 4 Zoll, bei dem Schüttkauer Wasserwerke 6 Röhren von 4 Zoll, endlich bei dem kleinseitner Wasserwerke 4 Röhren von 3 Zoll Durchmesser angebracht.

Im Durchschnitte schafft jede Wasserdruckmaschine in einer Minute 25 Kubikfuss Wasser in das *Reservoir* am Wasserthurme; ein jedes Wasserwerk liefert daher 50 Kubikfuss Wasser in der Minute. Man kann jedoch 10 Prozent hiervon als zu viel vorhandenes Wasser, welches die angeführten Ableitungsröhren nicht fassen, annehmen; dieses fällt durch ein besonderes Abfallsrohr (*tuyau de trop plein*) wieder in die Moldau ab. Hieraus ergibt sich der reine Zufluss des Wassers in der Stadt von jedem der 4 Wasserthürme im Durchschnitte mit 45 Kubikfuss in der Minute.

Wir haben bereits angeführt, dass die Kleinseite überdiess von der k. k. Schlosswasserleitung für 3 öffentliche Röhrkästen und 7 Privathäuser das Wasser bezieht. Nebstdem werden am Hradschine 2 öffentliche Röhrkästen und 5 Privathäuser mittelst

einer besonderen, der prager Stadtgemeinde gehörigen und in der Gegend vor dem Reichsthore in Röhren aufgefassten Quellwasserleitung mit dem nöthigen Wasser versehen.

Der Röhrkasten im sogenannten hohlen Wege bezieht das Wasser aus der Quelle unter dem Hause N. C. 156 auf dem Hradschin.

Endlich wird aus mehreren Quellen, welche sich im Schanzengraben zwischen dem Rossthore und blinden Thore befinden, das Wasser durch die Schanzen in das Haus Nr. 577 in der Schanzengasse geführt.

Diess ist die ganze Vertheilung des Röhrwassers in der Hauptstadt Prag. Nebstbei gibt es eine bedeutende Anzahl Brunnen in allen Gegenden der Stadt, wo das Wasser durch gewöhnliche Pumpen gehoben und als Trinkwasser verwendet wird. Endlich wird vorzüglich von der ärmern Klasse an beiden Ufern der Moldau viel Wasser unmittelbar aus dem Flusse geholt und verwendet. Hieraus ergibt sich, dass man die Wasserkonsumzion, welche auf einen Bewohner entfällt, nicht zu berechnen im Stande sey. Wie viel jedoch die vier angeführten Wasserwerke geben, erhellet aus der angeführten an Ort und Stelle durch das städtische Bauamt vorgenommenen, uns mitgetheilten Abmessung. Die umständliche Beschreibung und Theorie der Druckwerke wird später fogen.

§. 180.

Wie die Röhren in der Stadt eingerichtet sind, wie selbe gelegt und von Zeit zu Zeit gereinigt werden, haben wir Seite 232 bis Seite 237 angeführt. Es ist nicht zu läugnen, dass das gegenwärtige Verfahren, die gusseisernen Röhren 7 bis 8 Fuss unter der Erdoberfläche einzugraben, in mehrerer Hinsicht unbequem sey, indem es nicht bloss schwierig wird, eine mangelhafte Stelle der Röhrenleitung, wo z. B. Wasser verloren geht, aufzufinden, sondern auch die jedesmalige Aufreissung des Pflasters und die Ausgrabung der Röhren bedeutende Unkosten und Hemmungen in der Kommunikazion dermassen verursacht, dass manchmal einzelne Gassen durch zwei oder mehrere Tage für das Fuhrwerk gesperrt bleiben. Diesen Uibelständen wäre offenbar dadurch abgeholfen, wenn die Röhren in eigenen unter dem Strassenpflaster hinreichend tief liegenden gewölbten Kanälen fortgeführt würden. Man hat inzwischen diesem Vorschlage nicht bloss die Kostspieligkeit, sondern auch den Umstand entgegengesetzt, dass die bereits bestehenden unterirdischen Abzugs- oder Unrathskanäle wegen der nothwendigen Gefällseintheilung grösstentheils nicht in jene Tiefe gelegt werden konnten, wo das Wasser nicht mehr einfriert, dass sonach diese Kanäle für die Aufnahme der Wasserleitungsröhren, wie es z. B. in Paris der Fall ist, nicht geeignet sind, neue Kanäle aber in einigen schmälern Strassen selbst nicht den nöthigen Raum finden und ihre Anlage einen bedeutenden Fond fordern würden.

§. 181.

Die beschriebenen Druckwerke und sämmtliche Wasserleitungen, welche von denselben ausgehen, sind ein Eigenthum der prager Stadtgemeinde und stehen unter der Verwaltung des Magistrates. Die öffentlichen Röhrkästen, welche nach unserer Beschreibung in hinreichender Anzahl vorhanden sind, geben der ärmern Klasse und überhaupt allen Einwohnern Gelegenheit, sich das benöthigte Wasser unentgeltlich zu ver-

schaffen. Damit jedoch die Stadtgemeinde für die bedeutenden Auslagen gedeckt werde, welche durch die Unterhaltung der vier Wasserdruckwerke und der hiermit in Verbindung stehenden weit verzweigten Röhrenleitungen veranlasst werden, ist folgende Norm für den Bezug des Wassers in Privathäusern festgesetzt.

Wenn ein Haus noch keine besondere Wasserleitung hat und die zunächst liegende städtische Hauptleitung disponibles Wasser besitzt, so muss der Besitzer des Hauses zuerst das Wasser einkaufen. Die bestimmte Summe hierfür beträgt nach der Grösse des Gebäudes 300 bis 500 fl. C. M. Ist diess geschehen, so wird die Röhrenleitung in das Gebäude von der Hauptleitung aus auf Kosten des Besitzers unter Aufsicht des Stadtbauamtes gelegt; der Besitzer übernimmt zugleich die Verpflichtung, diese Nebenleitung von dem Hauptröhrengange aus für alle kommende Zeiten zu unterhalten, und überdiess muss derselbe einen jährlichen Zins für den Bezug des Wassers entrichten; dieser letztere ist nach der Grösse der Gebäude in drei Klassen eingetheilt. Zur ersten Klasse gehören die Fabriken, Bräuhäuser, Branntweinbrennereien und andere grössere Industrialanstalten; diese Klasse zahlt 24 fl. C. M. jährlichen Zins. Zur zweiten Klasse gehören Herrschaftshäuser und andere grosse Privathäuser, welche jährlich 20 fl. C. M. Zins entrichten. Zur dritten Klasse endlich gehören kleinere Privathäuser, die 12 fl. C. M. jährlichen Zins für den Bezug des Wassers zu zahlen haben.

So oft ein Haus verkauft wird, muss überdiess der neue Besitzer desselben, auch wenn es schon mit einer Wasserleitung versehen ist, eine Erneuerungs- oder sogenannte Legitimazionsgebühr entrichten; diese beträgt für die erste Klasse 200 fl., für die zweite Klasse 150 fl. und für die dritte Klasse 100 fl. C. M.

Kasernen, Aerarialgebäude und jene Gebäude, welche sich in der sogenannten todten Hand befinden oder wo keine Veränderung des Besitzers eintritt, machen mit der Stadtgemeinde besondere Verträge, kraft welcher z. B. bei den Kasernen bloss der jährliche Betrag von 100 bis 200 fl. C. M. entrichtet, dagegen aber von der Stadtgemeinde auch die Unterhaltung der Röhrenleitung bis in das Gebäude und innerhalb desselben übernommen wird.

Wenn wir diese Geldbeträge mit jenen vergleichen, welche in England und Frankreich mit 5 bis 7 Prozent des Hauszinses jährlich bezahlt werden, so erscheinen sie in der That sehr gering. Ein Herrschaftshaus, welches jährlich 20 fl. und bei Erneuerung des Besitzers wieder 150 fl. zahlt, erhält demnach im Durchschnitte beiläufig um 25 fl. jährlich den Wasserbedarf für einen im Hause angelegten Röhrkasten, wovon nicht bloss die Bewohner dieses Hauses, sondern, wie es gewöhnlich der Fall ist, auch der umliegenden Häuser, die daselbst das Wasser holen, hiermit versorgt werden. Wollte man den jährlichen Miethzins eines solchen Herrschaftshauses nur zu 2000 fl. anschlagen, so betrüge die Auslage für das Wasser $\frac{1}{80}$ oder $1\frac{1}{4}$ Prozent des Hauszinses. Ein Privat-Wohngebäude, welches in die dritte Klasse gestellt, mit 12 fl. jährlich und einer Legitimazionsgebühr von 100 fl. bei Veränderung des Besitzers belastet wird, kann im Durchschnitte mit jährlichen 15 fl. Wassertaxe und wenigstens mit 1200 fl. Miethzins in Anschlag genommen werden. Die Wassertaxe beträgt demnach abermals nur $1\frac{1}{4}$ Prozent des jährlichen Miethzinses. Schlägt man nun auch das erste Ankaufskapital für das

Wasser, die Anlagskosten der hergestellten Nebenleitung und die Unterhaltungskosten derselben verhältnissmässig hinzu, so dürfte sich dennoch in keinem Falle ein höherer Betrag als beiläufig $2\frac{1}{2}$ Prozent des Miethzinses der Häuser ergeben. Die Bewohner von Prag haben daher im Verhältnisse zu ihrem Miethzinse das Wasser 2 bis 3 Mal wohlfeiler, als es in Frankreich und England der Fall ist.

Wir haben noch zu bemerken, dass das Wasser in allen Gebäuden zu Prag in eigene steinerne Röhrkästen geführt wird, wohin es ohne Unterbrechung bei Tag und Nacht zuläuft. Das überflüssige Wasser läuft durch eine Abfallsröhre in den nächsten Unrathskanal. Damit endlich kein Gebäude zu viel Wasser erhalten könne, sind die Nebenröhren in die Gebäude, welche $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll im Lichten Weite haben, mit Hähnen versehen, deren Bohrung nach der Entfernung vom Wasserthurme, der Statt findenden Druckhöhe und der benöthigten Wassermengen bemessen ist, und häufig nur 8, ja selbst nur 3 Linien beträgt. Der Eigenthümer eines Hauses kann demnach keine grössere Wassermenge erhalten, wenn er nicht etwa den bestimmten Hahn durch einen andern mit grösserer Bohröffnung verwechselt, für dessen Verhinderung aber das aufgestellte Aufsichtspersonale zu sorgen hat.

§. 182.

Bevor wir eine Skizze der Wasserleitungen in Frankreich und vorzüglich jener von *Paris* liefern, müssen wir bemerken, dass daselbst eine eigene Einheit zum Messen der von einer Wasserleitung gelieferten Wassermenge angenommen wird. Dieselbe wird nämlich nach einer alten von *Mariotte* vorgeschlagenen Einheit, den Wasserzollen (*pouce de fontainier*) gemessen. Hierunter versteht man die Wassermenge, welche durch eine kurze Röhre von 1 par. Zoll im Durchmesser beständig ausfliesst, wenn die Druckhöhe des Wassers 7 par. Linien über der Mitte dieser Oeffnung beträgt. Da man hierbei weder die Länge der Röhre, noch die Dicke oder Gestalt der Wand, in welcher die Oeffnung angebracht ist, bestimmt hat, so leuchtet von selbst ein, dass die Bestimmung der Wassermenge auf diese Art keinen verlässlichen Anhaltspunkt darbiethet. Nehmen wir inzwischen mit den französischen Ingenieurs den Zusammenziehungskoeffizienten mit $0{,}69$ an, und setzen $g = 15{,}098$ par. Fuss, so ergibt sich die Wassermenge, welche durch obige Oeffnung in 24 Stunden ausfliesst, nach der Seite 161 unter dem Texte aufgestellten Formel

$$M = 24 \,.\, 3600 \,.\, 0{,}69 \cdot \frac{3{,}1416}{4} \cdot \frac{1}{144} \cdot 2\sqrt{15{,}098 \cdot \frac{7}{12 \,.\, 12}\left\{1 - \frac{1}{32}\left(\frac{6}{7}\right)^2\right\}} =$$

$= 24 \,.\, 3600 \cdot \frac{10{,}8866}{12^3} = 544{,}33$ par. Kubikfuss oder $18{,}651$ Kub. *meter*. In neuern Zeiten hat man jedoch allgemein angenommen, dass 1 *pouce* Wasser in 24 Stunden $19195{,}3$ *litres* $= 19{,}1953$ Kub. *meter*, demnach in einer Minute 15 Pinten oder $13{,}33$ *litres* Wasser gibt. Diess macht 608 N. Oe. Kub. Fuss in 24 Stunden und $12{,}16$ N. Oe. Kub. Zoll in 1 Sekunde. Der französische Wasserzoll wird in 144 gleiche Theile Wasserlinien (*lignes d'eau*) genannt, eingetheilt; eine Wasserlinie gibt daher $133{,}3$ *litres* Wasser in 24 Stunden.

Die Wasserleitungen in mehreren französischen Städten wurden schon zur Zeit der Römer mit ungeheuerem Aufwande angelegt, wie es die noch gegenwärtig vorhandenen

Uiberreste der Aquedukten bei *Metz, Lyon, Nismes* und in mehreren andern Städten des südlichen Frankreichs beweisen. Der Kaiser *Julius* liess während seines Aufenthaltes zu *Paris* (im Jahre 360) den *aqueduc d'Arcueil* errichten; eine zweite unterirdische Wasserleitung begann auf den Höhen von *Chaillot* an dem Ursprunge der dortigen Mineralquellen und ging durch die jetzigen elysäischen Felder und einen Theil des *Tuilerien*-Gartens, wahrscheinlich bis in die Mitte des gegenwärtigen *Palais Royal.* Im Jahre 1781 fand mán nämlich in dem Garten ein *Reservoir* von römischer Konstrukzion, welches im Jahre 375 erbaut worden war.

Die Wasserleitungen, welche zuerst für den Gebrauch der Einwohner von *Paris* angelegt wurden, leiteten das Wasser von *Saint-Gervais* und *Belleville* zu, und wurden vom Jahre 1180 bis 1223 angelegt. Im Jahre 1606 liess *Heinrich IV.* die erste hydraulische Maschine (Druckwerk) unter einem Bogen des *Pont-Neuf* erbauen, um mittelst derselben das Wasser aus der *Seine* zu heben. Im Jahre 1613 wurde der neue *aqueduc d'Arcueil*, welcher das Thal des Flusses *Bièvre* mit einem grossen *aqueduc* durchschneidet, von der Königin *Catherine de Medicis* hergestellt; im Jahre 1670 wurde das Druckwerk an der Brücke *Notre-Dame* errichtet. Die grössten hydraulischen Monumente wurden jedoch unter *Ludwig XIV.* ausgeführt, unter dessen Regierung überdiess sehr viele wissenschaftliche Untersuchungen über die Bewegung des Wassers in Röhren und Flussbetten angestellt wurden. Die Wasserleitungen von *Versailles*, welche noch heut zu Tage unter die ausgedehntesten der Welt gehören, wurden damals mit einem Aufwande von vielen Millionen *Livres* angelegt. Im Jahre 1682 erbaute der Mechaniker *Rannequin* an einem Arm der *Seine* die Druckmaschine von *Marly*, mittelst welcher 300 *pouces d'eau* auf die Höhe von 162 *metres* erhoben und das gehobene Wasser von hier nach *Versailles* geführt wurde. Die Maschine selbst wurde zur Zeit ihrer Erbauung als das grösste Kunstwerk angesehen und der Ort desshalb *Marly la maschine* genannt, allein die gehobene Wassermenge, welche im Jahre 1694 noch 300 *pouces* betrug, verminderte sich fortwährend bis sie im J. 1816 nur noch 28 *pouces* war. In diesem Jahre wurde die Maschine abgetragen und an ihrer Stelle eine Dampfmaschine von 64 Pferde Kraft aufgestellt, welche letztere 1500 Kub. *meter* Wasser innerhalb 24 Stunden auf die Höhe von 162 *metres* mittelst einer schief hinauflaufenden Röhrenleitung von 1300 *metres* Länge hebt.

Unter die grossen Bauwerke des vorigen Jahrhunderts gehört vorzüglich auch noch der *aqueduc de Montpellier*, welcher im Jahre 1752 unter der Leitung des berühmten Ingenieurs *Pitot* erbaut wurde. Die Länge desselben beträgt 13904 *metres* von der Quelle bei *Saint-Clément* bis zum Platze *Peyrou*; er endigt sich in einer Länge von 880 *metres* durch zwei übereinanderstehende gewölbte Bogenreihen (*Arkaden*), die zusammen 28 *metres* Höhe haben. Von einem zweiten zur Zeit der Römer bereits erbauten *Aqueduc* bei *Nismes* (*pont du gard*), welcher aus drei Reihen Bögen über einander besteht, ist auch noch der grösste Theil erhalten.

§. 183.

Um die Stadt *Paris* mit dem Bedarfe an Wasser zu versehen, hatten die Ingenieurs *Perronet* und *Chezy* bereits im Jahre 1769 den Vorschlag zur Anlegung des

Canal de l'Yvette gemacht; die Länge desselben von *Chevreuse* bis zum *Boulevart* sollte 17352 *toises*, seine mittlere Breite zwischen der Oberfläche und dem Grundbette 4,5 Fuss, seine Tiefe 5 Fuss und sein Gefälle 15 Zoll auf 1000 Klafter betragen. Man rechnete, dass die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers 1 Fuss in der Sekunde seyn würde, wornach diese Leitung 1500 *pouces* liefern sollte. Die Kosten dieser ganzen Anlage waren auf 7826000 *Livres* berechnet.

Dieses Projekt kam jedoch damals nicht zu Stande, allein am 7ten Februar 1777 erhielten die *Sieurs Périer* das 15 jährige Privilegium (*lettres patentes*) auf ihre Kosten Pumpen, Dampfmaschinen und Röhrenleitungen an beliebigen Orten zu errichten, mittelst derselben das Wasser aus der *Seine* in die verschiedenen Stadtheile zu leiten, und dort um einen beliebigen Preiss zu verkaufen. Die einzige Verpflichtung hierbei war, dass binnen 3 Jahren durch diese Wasserleitung wenigstens 1050 *pouces* Wasser vertheilt werden sollten. *Périer* hatte die ersten Auslagen auf 1440000 *Livres* berechnet und bildete zu diesem Behufe am 27ten August 1778 eine Akziengesellschaft unter den wohlhabendsten Einwohnern von *Paris*, welche dieses Kapital mittelst 1200 Akzien zusammenlegten. Diese Gesellschaft erbaute zuerst die Dampfmaschinen von *Chaillot* (*pompes à feu de Chaillot*), welche noch gegenwärtig bestehen. Zwei Maschinen, deren jede die Kraft von 80 Pferden haben soll, und abwechselnd im Gange sind, treiben das Wasser in einen gemeinschaftlichen Windkessel. Die Pumpen selbst sind Saug- und Druckpumpen, haben 2 Fuss im lichten Durchmesser und die Höhe jedes Hubes, der beiläufig 6 Sekunden erfordert, beträgt 7 Fuss. Der Windkessel ist von Gusseisen, etwa 6 Fuss weit, 20 Fuss hoch und das Wasser steigt aus demselben in zwei *Reservoirs*, von welchen aus es durch Röhren weiter geleitet wird. Diese Anlage besteht zwar noch, befindet sich aber, da die Dampfmaschinen ganz nach der alten Konstrukzion erbaut sind, in einem sehr unvollkommenen Zustande. Dieselbe Gesellschaft stellte auf dem andern Ufer der *Seine* die Dampfmaschine *Gros-Caillou* auf, um die Vorstadt *Saint-Germain* mit Wasser zu versehen. Diese Maschine hat nur die Kraft von 24 Pferden und hebt das Wasser in ein mit Blei ausgelegtes *Reservoir* von 15 Fuss Länge, 12 Fuss Breite und 4 Fuss Tiefe, welches in der Höhe von beinahe 100 Fuss in einem Thurme aufgestellt ist. Diese Maschinen und die hiermit in Verbindung stehenden Röhrenleitungen hatten jedoch die *Fonds* der Gesellschaft dermassen erschöpft, dass sie bis zum Juli 1786 eine Summe von 8800000 *Livres* ausgegeben hatte, welche durch 5100 Akzien vorgestellt wurde. Da inzwischen die Stadtgemeinde einen Theil des Kapitales gegen Verpfändung der Akzien vorgestreckt hatte, so wurden nach langen Verhandlungen der Gesellschaft sämmtliche Akzien, das Privilegium und alle Wasserleitungen sammt Zugehör von der Stadt *Paris* um den Betrag von 18360000 *Livres* abgenommen. Seit dieser Zeit werden die Wasserleitungen auf Kosten der Stadtgemeinde in *Paris* unterhalten und für ihre Rechnung das erforderliche Wasser daselbst an den öffentlichen *Fontainen* verkauft.

§. 184.

Wir übergehen die weitern *Details* über die pariser Wasserleitungen, welche in dem Werke von *Girard*, *Mémoire pour servir d'introduction au devis général des*

ouvrages à executer pour la distribution des eaux du Canal de l'Ourcq dans l'intérieur de Paris (*Paris*, 1812) enthalten sind. Diesem gemäss sollen die Wasserleitungen folgendes liefern:

1. Die Wasserleitungen von *Prés Saint-Gervais, Belleville* und *Ménil-montant*	15	*Pouces.*
2. Die Leitung von *Arcueil*	50	—
3. Die Dampfmaschine *Chaillot*	280	—
4. Die Dampfmaschine *Gros-Caillou*	70	—
5. Die Pumpe an der Brücke *Notre Dame*	48	—
6. Die kleinen Pumpen und Schöpfwerke	17	—
in Allem	480	*Pouces*

oder in 24 Stunden 8952 Kubik-Meter.

Diese Wassermenge wird jedoch nicht unmittelbar für das Bedürfniss der Stadtbewohner, sondern ein grosser Theil hiervon zur Reinigung der Strassen (*lavage des rues*), welche in *Paris* häufig Statt finden muss, da in den meisten Strassen die Unrathskanäle (*égouts*) noch fehlen, dann auch zu den öffentlichen Springbrunnen verwendet, aus welchen das überflüssige Wasser unbenützt abläuft. Die wirkliche, für das Bedürfniss der Einwohner verwendete Wassermenge ergibt sich aus der Berechnung, welche *Benoiston de Chateauneuf* in seinen *Recherches sur les consommations de tout genre de Paris*, im Jahre 1817 bekannt machte; nämlich:

Anzahl der Häuser in *Paris*	26000
„ „ Einwohner „	713966
Jährliche Auslagen dieser Einwohner für ihren Wasserbedarf	6200000 *Francs.*
Das täglich verbrauchte Wasser beträgt	169390 *voies* zu 23 *litres.*

Hieraus folgt, dass jedes Haus beiläufig eine Wasserlinie (133,3 *litres*) täglich bedarf, und dass jeder Einwohner für das verbrauchte Wasser jährlich 8 *Francs* 68 *centimes* entrichten muss. Das Wasser, welches den Einwohnern in eigenen Tonnen zugeführt wird, muss jedoch vorher, wenn es zum Trinken dienen soll, einer Filtrirung unterworfen werden. Die Anstalten hierfür sind in eigenen grossen Gebäuden an den Ufern der *Seine* eingerichtet. Mittelst der hydraulischen Maschinen wird das, häufig sehr unreine Flusswasser in grosse Behältnisse, welche sich unter dem Dache der Gebäude befinden, gehoben und setzt daselbst den grössten Theil des Schlammes und der Erde, welche es mit sich führt, ab. Aus diesem Behälter gelangt es in andere tiefer liegende Behälter, wo es durch eine Lage von groben Flussand und dann durch eine zweite Lage von solchem feinern aber scharfen Flussand, der mit Kohle gemischt wurde, geleitet wird. Von hieraus fliesst das Wasser durch lange Rinnen, die mit sehr vielen kleinen, mit Badeschwämmen bedeckten Oeffnungen versehen sind, ab, und lässt die allenfalls noch mitführenden Schlammtheile in diesen Schwämmen zurück, so dass es ganz rein aus den kleinen Oeffnungen herausläuft und nun in Tonnen gefüllt, auf Wägen abgeführt und in der Stadt verkauft wird. Der Preiss dieses Wassers ist auf 10 *centimes* (2,4 kr. C. M.) für eine *voie* (23 *litres* oder 0,728 N. Oe. Kub. Fuss) festgesetzt, welches demnach 3,3 kr. C. M. für 1 Nied. Oest. Kubikfuss beträgt. In eini-

gen Privathäusern sind noch überdiess kleinere Filtrirapparate (*Filtres depuratoires*) aufgestellt, in welchen das Wasser von oben durch verschiedene abwechselnde Schichten von Sand und Kohlenpulver, so wie häufig auch durch eine Lage Badeschwamm dringt und unten gereinigt ausfliesst.

§. 185.

Aus dieser Darstellung erhellet, wie unvollkommen und unbequem die Anstalten zur Herbeischaffung des brauchbaren Trinkwassers in *Paris* sind, und wie theuer dieser nothwendige Lebensartikel den dortigen Einwohnern zu stehen kommt. Da überdiess für jeden Menschen täglich 20 *litres* oder $1/_{50}$ Kub. *meter*, demnach für eine Bevölkerung von nahe an 800000 Einwohnern täglich 16000 Kub. *meter*, oder beinahe 860 Wasserzoll erfordert werden, die gegenwärtigen Anstalten aber nur die Hälfte liefern, so wurde der *Ourcq*-Kanal unter der Konsular-Regierung nach dem Plane des Ingenieurs *Girard* angelegt. Dieser Kanal gehört unter die grössten Bauwerke, welche in Frankreich ausgeführt wurden. Mittelst desselben wird das Wasser aus den Flüssen *Ourcq* und *Beuvrone* nach *Paris* geleitet, seine Länge beträgt von der *prise d'eau* in *Mareuil* am Flusse *Ourcq*, wo er beginnt, bis *Paris* 93922 *mètres* oder 12,4 N. Oe. Meilen. Der Bau desselben wurde im September 1802 angefangen, und so thätig betrieben, dass er bereits im Jahre 1805 mit Wasser angelassen wurde. Der Kanal endigt sich mit einem grossen Bassin (*Bassin de la Villete*) von 600 *Toisen* Länge und 60 *Toisen* Breite. Von hier aus wird der *Aqueduc de ceinture* mit Wasser gespeist. Dieser *Aqueduc* geht durchaus unterirdisch gewölbt unter Häusern, Strassen und Gärten längs der Anhöhe auf der Nordseite von *Paris* fort. Er ist 4080 *met.* lang, 1,5 *met.* breit und beinahe eben so tief, seitwärts befindet sich ein schmaler Fussweg von ½ *met.* Breite und er kann mit einem kleinen Kahne befahren werden; seine Soole ist durchaus horizontal, das Wasser steht daher in demselben beinahe überall so hoch, als in dem *Bassin de la Villete.* Dem ursprünglichen Plane gemäss, welchen Herr *Girard* am 1ten Februar 1808 vorlegte, sollte von diesem Kanale aus das Wasser in die niedrigern Gegenden der Stadt in Röhren von Gusseisen geführt werden. Allein dieser Plan, worauf sich eine weit verzweigte Leitung des Wassers in *Paris* gründete, ist bis jetzt noch nicht zur Ausführung gekommen; der Kanal von *Ourcq*, auf dessen Bau bis zum 1ten Jänner schon 14353118 *Fr.* ausgelegt waren, ist noch immer nicht ganz vollendet, und so wird nur der kleinste Theil der Wassermenge, welche der Kanal abführt und die nach *Girard* 13500 Wasserzoll zur Zeit der grössten Dürre betragen soll, gegenwärtig verwendet.

Bereits im Jahre 1814 hatte eine englische Gesellschaft den Ingenieur *Mylne* von *London* nach *Paris* geschickt, um der Regierung den Antrag zu machen, die Arbeiten des Kanales von *Ourcq* zu beendigen und eine vollkommene Röhrenleitung in allen Theilen der Stadt anzulegen, mittelst welcher ein jedes Haus mit reinem Wasser versehen werden kann. Allein die Verhandlungen hierüber scheiterten. Am 23ten Dezember 1829 erschien endlich eine königliche Ordonanz, welche die Stadt *Paris* ermächtigte, die Unternehmung der allgemeinen Vertheilung des Wassers (*Entreprise de la distribution générale d'eau dans Paris*) durch öffentliche Konkurrenz ausführen zu lassen. Die Gesellschaft, welche diese Ausführung zu übernehmen wünschte, sollte 1tens auf ihre Ko-

sten Dampfmaschinen und ein System von Röhrenleitungen anlegen, mittelst welcher täglich 2000 Wasserzoll aus der *Seine* gehoben und innerhalb der Strassen von *Paris* in die Wohngebäude vertheilt werden können, 2tens auf ihre Kosten alle Arbeiten beendigen, wodurch täglich 4000 Wasserzoll aus dem *Bassin de la Villete* theils den öffentlichen *Fontainen* zugeführt, theils auch zum Bespritzen der Strassen und Reinigen der Unrathskanäle verwendet werden, 3tens von dem erstgenannten *Seine*-Wasser sollte die Gesellschaft 300 Wasserzoll für öffentliche Röhrkästen und öffentliche Gebäude, Spitäler, Kasernen, Gefängnisse, etc. unentgeltlich zuführen, und ausserdem noch $62\frac{63}{144}$ Wasserzoll in andere Gebäude unentgeltlich leiten. 4tens der Verkaufspreiss des Wassers von der *Seine* oder dem *Ourcq*-Kanal dürfte höchstens für Privatpersonen für einen Wasserzoll 5000 Franks jährlich betragen. (Diess gibt 0,5 kr. C. M. für 1 N. Oe. Kubikfuss, oder 6,6 mal weniger, als das Wasser gegenwärtig kostet). 5tens sollte die Gesellschaft von ihrer für das verkaufte Wasser eingegangenen Brutto-Einnahme wenigstens den zehnten Theil als Minimum an die Stadtgemeinde entrichten und die Unternehmung sollte jener Gesellschaft zugeschlagen werden, welche sich zu der höchsten Abgabe des Brutto-Einkommens an die Stadt erklärt, endlich 6tens sollte nach Ablauf von 99 Jahren die Stadtgemeinde ohne weitere Entschädigung zu dem vollkommen freien Eigenthum der ganzen Unternehmung und Zugehör gelangen.

Die Berechnungen, welche von mehreren Ingenieurs über die Kosten dieser Unternehmung gemacht wurden, wiesen eine Summe von 6 Millionen *Francs* zur Beendigung der Arbeiten am Kanal von *Ourcq* und Leitung von 4000 Wasserzoll zu den öffentlichen *Fontainen* und den andern oben angeführten Zwecken, dann weitere 14 Millionen zur Anlage der Dampfmaschinen und eines vollkommenen Röhrenleitungssystems aus, mittelst welchem 2000 Wasserzoll aus der *Seine* gehoben und in sämmtliche Strassen nach Bedarf unter die Wohngebäude vertheilt werden können.

Diese bedeutende Summe von 20 Millionen *Francs* und die übrigen Bedingungen der Konzession haben aber bisher noch keine Gesellschaft weder in Frankreich, noch in England vermocht, die Unternehmung zu übernehmen, und so wird bis heut zu Tage noch der grösste Theil des Wassers zu dem angeführten hohen Preise in den Strassen von *Paris* verkauft, was bei der Menge Wägen die hierzu erfordert werden, keine kleine Unbequemlichkeit daselbst verursacht.

§. 186.

Am Schlusse dieser Beschreibung der Wasserleitungen von *Paris* fügen wir noch die Beschreibung zweier vorzüglichen Springbrunnen bei, welche auf der 51. Tafel dargestellt sind. Hiervon stellt Fig. 1 den Springbrunnen im *Palais royal* vor, welcher wegen seiner Aehnlichkeit mit einer Garbe *gerbe d'eau* genannt wird. Die Röhrenleitung, welche das Wasser hierher zuführt, beginnt bei einer Brunnstube (*regard*) am Anfange der *galerie des Martyrs* und hat im Ganzen eine Länge von 2661 *meter* und einen Durchmesser von 0,25 *meter*. Das Bassin hat 25 *meter* im Durchmesser und 0,45 *meter* Tiefe. Die in der Mitte dieses Bassin senkrecht aufsteigende Röhre ist mit einer kupfernen Ansatzplatte (*Crapaudine* oder *Champignon* genannt) bedeckt,

Fig. 1 Tab. 51.

welche, wie Fig. 2, zeigt mit 17 Oeffnungen zur Ausströmung des Wassers versehen ist. In eine jede dieser Oeffnungen ist ein Guss- oder Ausflussrohr angeschraubt, welches Fig. 3 bis 6 dargestellt ist. Die gusseiserne Röhre C D (*tuyau du trop-plein*) ist mit einer kupfernen Einflussöffnung versehen, und mit einem eisernen Gitter bedeckt, damit durch dieselbe nur das überflüssige Wasser in den gewölbten Kanal ablaufen und keine andern Körper zufällig hineinkommen können. Der Durchschnitt Fig. 7 zeigt den gewölbten unterirdischen Kanal sammt der gusseisernen Wasserleitungsröhre und Fig. 8 denselben Kanal an einem Orte, wo das Gewölbe zum Hinabsteigen mit einer Oeffnung, die durch ein gusseisernes Gitter geschlossen wird, versehen ist. Der Hahn A, womit die Zuleitungsröhre geschlossen werden kann, ist von derselben Konstrukzion, welche wir Seite 239 beschrieben und Fig. 5 und 6, Tab. 49 dargestellt haben. Der Springbrunnen liefert beiläufig 85 Wasserzoll. Die Auslage für das Bassin ohne die Zuleitungsröhren und Kanäle betrug 33164 *Francs*. Fig. 1 bis 8. Tab. 51.

Fig. 9 und 10 enthalten die Ansicht und den Durchschnitt einer *Fontaine* des *place royale*, wo im Ganzen 4 solche *Fontainen* aufgestellt sind. Die gusseiserne Hauptzuleitungsröhre hat abermals einen Durchmesser von 0,25 *metres* im Lichten, theilt sich jedoch bei dem Eingange auf diesen Platz in mehrere Arme, die zu den 4 *Fontainen* führen. Da die Hähne bei einer Zuleitungsröhre unterhalb der *Fontaine* nur 0,108 *metre* Bohröffnung haben, so sind bloss gewöhnliche Kegelhähne A daselbst angebracht, mittelst welcher nun der Zufluss zu jeder *Fontaine* regulirt werden kann. Durch den Hahn B kann das Wasser der vertikalen Steigröhre abgelassen werden, durch die Röhre CD wird das überflüssige Wasser aus der *Fontaine* in den nächsten Behälter zurückgeführt; diese Ableitungs- und die Zuleitungsröhren sind hier in der Erde bloss eingegraben. Ein jeder von den 4 Springbrunnen liefert 6 bis 7 Wasserzoll. Die Auslage für diese 4 Springbrunnen betrug 68000 *Francs*. Fig. 9 und 10.

§. 187.

Die Wasserleitungen (*Waterworks*) in *England* gehören unter die grössten Unternehmungen, die daselbst von Privatgesellschaften ausgeführt wurden. In jeder grössern Stadt wird dermalen der Wasserbedarf für den häuslichen Gebrauch, so wie für technische Unternehmungen von solchen Leitungen bezogen, die durch Akziengesellschaften ausgeführt wurden. Bei denselben hat die Regierung bloss in den bezüglich ihrer Ausführung erlassenen Parlamentsakten durch weise Verfügungen das Interesse der Unternehmer und des Publikums zweckmässig zu vereinigen gewusst. Das Studium dieser Parlamentsakten ist daher für jeden, welcher einen Entwurf für eine solche Unternehmung zu machen hat, von grösster Wichtigkeit; es würde jedoch den Raum unserer Blätter und den nächsten Zweck dieses Werkes überschreiten, wenn wir uns mit dem *Detail* dieses übrigens sehr wichtigen Gegenstandes zu lange beschäftigen wollten. Indem wir daher unsere Leser, welche eine nähere Kenntniss hiervon zu besitzen wünschen, auf die englischen, hierüber durch den Druck bekannt gemachten Untersuchungen, Berichte und Parlamentsakten verweisen, liefern wir zugleich nachstehende gedrängte technische Uibersicht der englischen Wasserleitungen.

Die meisten Wasserwerke in *England* liegen an den Flüssen, welche die grossen Städte durchschneiden, und zwar an den obern Theilen dieser Flüsse. Die Liebe zur Reinlichkeit, welche in England so sehr vorherrscht, gestattet nämlich nicht ein Wasserwerk in einer Stadt unterhalb der Ausmündungen der Unrathskanäle anzulegen. Die wenigen Wasserwerke, bei deren Anlage dieses nicht berücksichtigt war, mussten in den letztern Jahren abgebrochen und an einen höhern Theil des Flusses gelegt werden. Ein solches Wasserwerk besteht gewöhnlich aus mehreren Pumpensätzen (Saug- und Druckwerken), welche durch die Kraft einer hinreichend starken Dampfmaschine betrieben werden. Das angesaugte Wasser wird entweder in ein höher gelegenes *Reservoir* gehoben, und fliesst von dort durch den hydrostatischen Druck in einer Hauptröhre, welche mit vielen andern Nebenröhren verbunden ist, an den Ort seiner Bestimmung, oder das Wasser wird unmittelbar durch die Kraft der Dampfmaschine in die Hauptröhre gepresst, von wo es dann durch Nebenröhren weiter gelangt. Mittelst eines zunächst der Dampfmaschine angebrachten gusseisernen Windkessels wird die gleichförmige Bewegung des Wassers in den Röhren bewirkt. In dem *Reservoir*, welches gewöhnlich einen sehr bedeutenden Umfang hat, setzen sich die Schlammtheile und die übrigen Unreinigkeiten, welche das Wasser mit sich führt, zu Boden, und es fliesst das reine Wasser durch die Röhren ab; zuweilen wird jedoch das Wasser in diesem Behälter erst einer Filtrirung unterworfen, welche dann darin besteht, dass das Wasser durch mehrere Lagen scharfen Sand, der zuweilen mit Kohle vermischt wird, vor seinem Abflusse in die Röhren geleitet wird. Im Innern der Wohngebäude gehen die Wasserleitungsröhren entweder bloss zu ebener Erde (*low service*) oder sie münden in allen Stockwerken bis unter dem Dache aus (*high service*); eine jede Art Leitung fliesst nur zu bestimmten Tagesstunden aus und muss auch besonders bezahlt werden.

§. 188.

Die **Wasserleitungen** in *London* lernt man am genauesten aus den, im Parlamente im Jahre 1828 hierüber Statt gehabten Verhandlungen kennen. Zu jener Zeit langten nämlich mehrere Bittschriften im Parlamente ein, worin über den Bezug des Wassers Beschwerde geführt wurde. Hierauf wurden folgende Berichte erstattet: *I. Report of the Commissioners appointed by his Majesty to inquire into the State of the Supply of Water in the Metropolis. Dated* 21 *April* 1828. *II. Report from the select Committee on the Supply of Water to the Metropolis. Ordered, by the House of Commons, to be printed*, 19 *July* 1828. In den folgenden Jahren erschienen noch einige andere Berichte dieser Art.

Aus diesen Berichten ergibt sich, dass *London* von 8 Privatgesellschaften, die Wasserwerke auf Akzien errichteten, mit Wasser versehen wird. Die Wasserwerke Nro. 1 bis 5 in dem nachfolgenden Verzeichnisse liegen auf der linken Seite der Themse, jene Nro. 6 bis 8 auf dem rechten Ufer. Die Gesellschaft *New River* bezieht den grössten Theil ihres Wassers aus Quellen, die Gesellschaft *East London* bezieht ihr Wasser aus dem Flusse *Lea*, welcher sich in die *Themse* einmündet; die übrigen Gesellschaften nehmen jedoch alles Wasser aus der *Themse*. Nachstehende Übersicht enthält die wichtigsten Daten über diese Wasserwerke.

Nro.	Nahme der Akziengesellschaft.	Jahr der Errichtung.	Anzahl und Pferdekraft der Dampfmaschinen.	Anzahl der Reservoirs.	Durchmesser der Hauptröhren.	Liefern täglich im Ganzen Wasser *Gallons.*	Hiermit werden versorgt Häuser.	Unternehmungskapital.	Im J. 1827 war die Brutto-Einnahme.	Ausgabe.
								Livres sterling.		
1	*New River*	1610	1 von 100 2 — 60	5	von 12 bis 33 Zoll	13 000000	66559	1 038725	95658	59205
2	*East London*	1807	2 — 40 1 — 70 1 — 90	4	von 9 bis 36 Zoll	6 512000	42207	513204	45443	14050
3	*West Middlesex*	1806	1 — 105 2 — 70	2	von 10 bis 23 Zoll	2 250000	14500	378466	37000	13000
4	*Chelsea*	1723	1 — 70 1 — 60	2	—	1 920000	12409	233738	18590	12532
5	*Grand Junktion*	1810	2 — 100 1 — 70	3	von 7 bis 12 Zoll	2 800000	7809	312669	24702	10674
6	*Lambeth*	1785	1 — 80 1 — 36	keines	von 10 bis 18 Zoll	1 480000	15987	130084	12370	9500
7	*South London*	1805	1 — 45 1 — 20	2	—	1 000000	10000	184394	8293	7992
8	*Southwark*	1581	1 — 42 1 — 20	1	von 7 bis 16 Zoll	1 572000	6900	70000	gering u. unbekannt	
	Zusammen . .		1348 Pferdekraft	19	—	30534000	176371	2861280	242056	126953

Da diese Tabelle aus den angeführten Parlamentsverhandlungen ausgezogen ist, so können auch alle hierin angeführten Daten, welche die Verhältnisse der Unternehmungen der Wasserwerke für das Jahr 1827 betreffen, als ganz richtig angesehen werden. Wir sehen hieraus,

1tens, dass für die ganze Populazion von 1300000 Menschen, wie sie zu jener Zeit beiläufig war, täglich 30534000, demnach auf einen Einwohner täglich 23,49 *Gallons* Wasser ausfiel, wofür derselbe im Durchschnitte jährlich $2^{2}/_{3}$ *sh.* zu zahlen hatte. Da nun 1 engl. *imp. standard Gallon* = 0,07829 N. Oe. Eimer = 0,14 N. Oe. Kubikfuss ist, so folgt, dass ein Einwohner in *London* im Durchschnitte t ä g l i c h 3,29 N. Oe. Kubikfuss Wasser bedarf und hierfür jährlich 1 fl. 50 kr. C. M. zu entrichten hat. Die Wasserkonsumzion der Thiere, des Strassenbesprengens etc. ist jedoch h i e r u n t e r a u c h b e g r i f f e n.

2tens. Das Unternehmungskapital, welches für die Wasserleitungen in *London* von Privaten verwendet wurde, beträgt $28^{2}/_{3}$ Millionen Conv. Gulden, wofür jährlich ein Gewinn von 1 Million 151030 fl. entfällt. Diess würde zwar 4 Prozent betragen, da jedoch die Gesellschaften einen grossen Theil ihres Gewinnes zur Anlegung neuer Leitungen, Verwechslung gusseiserner Röhren statt der frühern hölzernen, Anlage neuer *Reservoirs* etc. verwenden, so beträgt die jährliche Dividende bei den meisten Akziengesellschaften nur $2^{1}/_{2}$ bis 3 Prozent.

§. 189.

Auf gleiche Art wie die Wasserleitungen in *London* eingerichtet sind, bestehen dieselben in den andern englischen Städten.

In *Manchester* wurde erst vor 5 Jahren bei *Gorton* auf 2 Meilen Entfernung von der Stadt ein *Reservoir* von 60 *Acres* (zu 1125 N. Oe. Quad. Klafter) angelegt, in welchem sich das Wasser aus Quellen sammelt, und von hier weiter geleitet wird. Eine Hauptröhre von 18 Zoll Durchmesser geht nämlich von hier aus und vertheilt mittelst eines Systemes von Nebenröhren, deren Gesammtlänge gegen 10 deutsche Meilen beträgt, das Wasser. Ein zweites *Reservoir* dient zu gleichem Zwecke. Nach den Abmessungen von *Mallet* werden täglich 4620000 *Litres* Wasser in 15000 Häuser, worin 105000 Menschen wohnen, vertheilt; es kommen demnach auf jeden Einwohner täglich 44 *Litres*. Die Bezahlung an die Gesellschaft (*Manchester water works company*) wird mit 4 bis 5 Prozent von dem Hauszins bemessen, und darf höchstens 7½ Prozent desselben betragen.

Liverpool wird von zwei Gesellschaften *Liverpool and Harrington company* und *Liverpool bootle water works* mit Wasser versehen. Die erste sammelt das Wasser in mehreren auf 20 bis 25 Klafter Tiefe in dem dortigen rothen Sandstein (*red sand stone*) angelegten Stollen; diese Stollen haben ein kleines Gefälle und am Ausgange desselben einen Brunnen, in welchem sich das Wasser sammelt und von da mittelst Pumpen, die durch eine Dampfmaschine bewegt werden, gehoben und dann weiter geführt wird. Nach *Mallet* beträgt die tägliche Wasserkonsumzion für einen Einwohner in *Liverpool*, wo das Wasser schwieriger als in *Manchester* herbeizuschaffen ist, 27½ *Litres*; hierfür werden 5 bis 5½ Prozent des Miethzinses bezahlt; für ein Bräuhaus zahlt man 5 bis 50 *Liv.*, für ein Pferd jährlich 5 *sh.*

§. 190.

In *Glasgow* sind ebenfalls zwei Abziengesellschaften, welche die Stadt mit Wasser versehen. Die eine Gesellschaft sammelt das Wasser aus Stollen, welche am linken Ufer des *Clyde*flusses bei *Dalmarnok* angelegt sind. Nebstbei sind grosse Gräben von dem Flusse aus gelegt, aus welchen gusseiserne Röhren das filtrirte Wasser sammeln und in ein Hauptbehältniss in *Dalmarnok* zuführen. Von hier wird das Wasser mittelst Dampfmaschinen in 2 *Reservoirs* gehoben, von welchen es durch Röhren in die Stadt geleitet wird. Weil jedoch die Stollen am linken Ufer, der Haupttheil der Stadt aber am rechten Ufer liegt, so wird das Wasser durch eine biegsame eiserne, aus einzelnen Rohrstücken und Stopfbüchsen bestehende Hauptröhre, welche der berühmte *Watt* herstellte, erst durch den Fluss geführt. Der Preiss des Wassers ist mit 5 Prozent des Hauszinses bemessen. Die zweite Gesellschaft bildete sich im Jahre 1808 und sammelte das Wasser anfangs unterhalb der Stadt. Da man jedoch dieses Wasser nicht geniessen wollte, so mussten alle bereits ausgeführten Werke abgebrochen und neue oberhalb der Stadt bei *Dalmarnok* ohnweit jenen der ersten Gesellschaft angelegt werden.

Für *Edinburgh* wurde eine neue Wasserleitung im Jahre 1819 unter der Leitung des Ingenieurs *Jardine* angelegt. Zwei *Reservoirs*, worin das Quellwasser sich sammelt, liefern die hinreichende Menge davon. Das Wasser in dem Haupt-*Reservoir* befindet sich 346 Fuss über der mittlern Höhe der Stadt und geht von dort aus mittelst Röhren in die Stadt. Die Einwohner zahlen 5 Prozent des Miethzinses für den Bezug desselben.

§. 191.

Am Schlusse dieses Kapitels über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen wollen wir noch die Theorie einiger einfachen hydraulischen Maschinen abhandeln, welche auf den bisher vorgetragenen Grundsätzen beruhen.

Eine umgebogene an beiden Enden offene Röhre, wird wegen ihres Gebrauches zum Heben des Wassers gewöhnlich ein **Heber** (*siphon*) genannt. Bereits im Alterthume hat man über diese Maschine folgende Erfahrung gemacht: Wird eine kommunizirende Röhre mit Wasser angefüllt, und um sie in jeder Lage voll zu erhalten, an beiden Enden mit dem Finger oder mit Stöpseln geschlossen, und dann dergestalt in ein mit Wasser gefülltes Gefäss gehalten, dass der gebogene Theil B über den Rand des Gefässes, folglich höher zu liegen kommt, als die Oberfläche des Wassers in demselben, so kann man bei A die Röhre öffnen, und sie bleibt dennoch von A bis B angefüllt, oder das Wasser fliesst von B nicht in das Gefäss herab. Wenn man endlich in dieser Stellung auch den zweiten Stöpsel herauszieht und die Röhre öffnet, so fliesst das Wasser durch diese Oeffnung so lange aus, bis das Gefäss von E bis A leer geworden ist, oder die Luft bei A den Zutritt erhält. Die Ursache dieser Erscheinung lässt sich aus dem allgemeinen Drucke der Atmosphäre auf folgende Art erklären: Fig. 1. Tab. 52.

Wir haben bereits früher gezeigt, dass die Atmosphäre auf alle Körper, folglich auch auf die Oberfläche EF des Wassers einen Druck ausübt, welcher der Barometerhöhe oder einer Wassersäule von beinahe 32 Fuss $=$ H gleich kommt. Wenn die Höhe BF kleiner ist, als diese Wassersäule, so ist dieselbe ausser Stande, den Druck der Atmosphäre auf EF zu überwältigen. Ist aber BF grösser als 32 Fuss, so wird das Wasser im Schenkel BA von B herabfliessen und nur so wie beim Barometer auf der Höhe von 32 Fuss stehen bleiben; daraus erklärt sich, dass die Röhre bei B nur in dem Falle mit Wasser erfüllt bleibt, wenn BF kleiner ist, als 32 Fuss, welches bei unsern Hebern gewöhnlich Statt findet. Zugleich sieht man, dass das Wasser durch den Heber nicht fliessen könne, wenn die Höhe des umgebogenen Theiles B über dem Wasserspiegel grösser ist, als 32 Fuss, weil in diesem Falle das Wasser in dem Schenkel AB nicht über den Punkt B gehoben werden kann. Wenn aber die Höhe des Punktes B über dem Wasserspiegel kleiner ist, als 32 Fuss, so ist der Druck der Atmosphäre gegen die Wassertheile bei $B = 56{,}4\, f\,(H - BF)$. Der Druck auf die Fläche f des Stöpsels bei D ist demnach $= 56{,}4\, f\,(H - GD)$ Ziehen wir den letztern Druck von dem erstern ab, so bleibt $56{,}4\, f\,(H - BF - H + GD) = 56{,}4\, f.HD$ übrig, welches den Druck vorstellt, den der Stöpsel zu erleiden hat. Wird nun der Stöpsel entweder von dem Gewichte der Wassersäule $f.HD$ herausgestossen oder durch eine äussere Kraft herausgezogen, so ist ersichtlich, dass das Wasser durch die Röhre nach der Richtung ABD derselben bei D mit einer Geschwindigkeit ausfliessen werde, welche der Höhe des Wasserspiegels im Gefässe über der untern Oeffnung des Hebers D zukommt. Setzen wir demnach die Höhe $HD = h$ und die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser bei D ausfliesst $= v$, so ist $\frac{v^2}{4g} = h$, folglich $v = 2\sqrt{g.h}$.

Ist nun die Querschnittsfläche des Gefässes von einer solchen Grösse, dass wir die

Fig. 1. Tab. 52. Höhe des Wasserstandes über der Oeffnung während einer kurzen Zeit t als unveränderlich betrachten können, so wird die in dieser Zeit ausfliessende Wassermenge $M = t.f.v = t.f.2\sqrt{g.h}$ seyn. Hieraus folgt die Zeit, welche zu dem Ausflusse einer bestimmten Wassermenge M erforderlich ist, $t = \frac{M}{2f.\sqrt{g.h}}$.

Beispiel. Es sey der Durchmesser der Röhre $d = \frac{1}{3}$ Zoll, also die Fläche $f = \frac{11}{14} \cdot \left(\frac{1}{36}\right)^2$, die Druckhöhe $DH = 1$ Fuss, die Ausflussmenge $M = 1$ N. Oe. Mass $= \frac{1}{40}$ Eimer $= \frac{1{,}792}{40}$ Kubikfuss, so ist die Zeit, in welcher 1 Mass Wasser herausgehoben wird, $t = \frac{1{,}792 \cdot 14\,(36)^2}{40 \cdot 2 \cdot 11 \cdot \sqrt{15{,}5 \cdot 1}} = 9{,}4$ Sekunden.

§. 192.

Für den gewöhnlichen Gebrauch sind die Heber meistens so klein, dass man die in der Röhre enthaltene Luft bloss durch Saugen herausziehen kann, wodurch der Druck der Atmosphäre in Wirksamkeit gesetzt und die Röhre mit Wasser gefüllt, folglich ohne vorläufiger Anfüllung der Röhre das Wasser sogleich zum Ausfliessen gebracht wird.

Fig. 2. Wenn nur eine kleine Wassermenge aus dem Fasse A heraus zu heben ist, bedient man sich des sogenannten **Stechhebers**, welcher bloss aus einer geraden Röhre mit einer am obern Ende angebrachten Kugel besteht. Hierbei wird die Luft an dem obern Ende B angesogen und die Flüssigkeit z. B. der Wein steigt gewöhnlich sogleich bis in die Kugel C, welche so gross seyn muss, dass sie das verlangte Mass des Wassers oder Weines zu fassen im Stande ist. Reicht ein Athemzug nicht hin, um das verlangte Mass in die Kugel zu bekommen, so wird das obere Ende mit der Zunge geschlossen, und bei einem folgenden zweiten Zuge wieder geöffnet, wodurch abermals die Flüssigkeit im Heber höher steigt, und die Kugel mit eben so viel Flüssigkeit, wie bei dem ersten Zuge gefüllt wird. Nachdem auf solche Art durch einige Athemzüge so viel Wein in die Kugel gehoben worden, als man benöthigt, so wird das obere Ende abermals mit der Zunge oder mit dem Daumen geschlossen, der Stechheber aus dem Fasse oder Gefässe herausgezogen und die Flüssigkeit in das nebenstehende Gefäss durch Eröffnung des obern Endes abgelassen.

Wenn eine grössere Menge Flüssigkeit z. B. einige Eimer aus einem grösseren Weinfasse mittelst eines gebogenen Hebers herausgehoben werden sollen, so dass das Herabfallen des Wasserspiegels im Gefässe oder die Aenderung der Druckhöhe zu berücksichtigen ist, so finden hierbei dieselben Rechnungen Statt, die wir bereits §. 119 bei dem Ausflusse des Wassers aus Behältern, die keinen Zufluss erhalten, abgehandelt haben.

Zu einem Beispiele dieser Art wollen wir noch auf die **Widerstände der Röhrenwände** Rücksicht nehmen. In diesem Falle sey die Länge der Röhre $= l$ und ihr Durchmesser $= d$, der winkelrechte Querschnitt der Röhre $= f$ und *der horizontale* Querschnitt des Gefässes $= F$, die veränderliche Höhe des Wasserstandes über der Ausflussöffnung sey allgemein $= x$ und die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser durch die Röhre fliesst $= v$. Es ist daher die Druckhöhe $x = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{l}{45\,d}\right)$, und

hieraus die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre, $v = \frac{2\sqrt{g.x}}{\sqrt{\left(1+\frac{1}{45\,d}\right)}}$, endlich ist die Zeit, in welcher die Oberfläche des Wassers von der Höhe h auf die Höhe x sinkt, $t = \frac{F}{f}\sqrt{\left(1+\frac{1}{45\,d}\right)}\left(\sqrt{\frac{A}{g}}-\sqrt{\frac{x}{g}}\right)$, wie diess aus der, unter dem Texte *) beigefügten höhern Rechnung folgt.

§. 193.

Die **Anwendung des Hebers** fand bereits im Alterthume Statt, wie aus den Schriften des *Heron* von *Alexandrien* (*Spiritualium Liber, a Federico Commandino Urbinate ex Graeco in Latinum conversus, Acced. Jo. Bapt. Aleotti quatuor Theoremata Spiritualia, ex Italico in Lat. conversa. Amst.* 1680. 4. *Graece, Paris* 1593.) hervorgeht. In physikalischen Kabineten wird gewöhnlich eine bedeutende Anzahl verschiedenartiger Heber gezeigt und Versuche damit angestellt. Eine genaue Beschreibung dieser Heber befindet sich im V^ten^ Bande, 1^te^ Abtheilung des bereits erwähnten vortrefflichen *Gehler*schen physikalischen Wörterbuches, neu bearbeitet von den Herren *Brandes, Gmelin, Horner, Muncke* und *Pfaff.* Wir wollen von diesen vielfachen Konstrukzionen des Hebers bloss folgende, die zuweilen in der Mechanik Anwendung finden, anführen.

Soll mittelst eines Hebers eine Flüssigkeit, deren Berührung für den Mund gefährlich ist, aus einem Gefässe in ein anderes überhoben, oder eine Flüssigkeit über einem lockern Bodensatze weggenommen werden, so wird an den untern Theil des längern Schenkels die aufwärts gebogene beiderseits offene Röhre c d angekittet, der kürzere Schenkel in die Flüssigkeit getaucht, die Oeffnung bei e mit dem Finger geschlossen und bei d die Luft angesogen. So wie das Rohr b c e sich mit der Flüssigkeit gefüllt hat, erfolgt das weitere Fliessen im Heber ohne Anstand. Dieser Heber wird ein **doppelter** (*siphon double ou de laboratoire*) genannt. Fig. 3. Tab. 52.

Um die Berührung der Flüssigkeit mit dem Munde bei dem Ansaugen zu vermeiden, kann man den Heber auch umkehren, als eine kommunizirende Röhre anfüllen, die beiden Schenkelöffnungen mit den Fingern verschliessen, denselben abermals umkehren und mit dem kürzern Schenkel in die Flüssigkeit eintauchen, worauf das Ausfliessen sogleich erfolgt.

Der **Ventilheber** (*siphon à soupape*) ist an einem Schenkel mit einem kleinen Gehäuse, welches durch ein Ventil geschlossen werden kann, versehen. Wird der Fig. 4.

*) Die Wassermenge, welche in der Zeit d t aus der Röhre aufliesst, ist $dM = f.v.dt$; weil aber die Oberfläche des Wassers im Gefässe sich um eben so viel senken muss, so ist auch $dM = -F.dx$, demnach ist $dt = -\frac{F.dx}{f.v} = -\frac{F}{f}\cdot\frac{dx\sqrt{1+\frac{1}{45\,d}}}{2\sqrt{g.x}}$. Setzen wir die Höhe des Wasserstandes über der untern Oeffnung des Hebers am Anfange des Ausflusses $= A$, so ist das vollständige Integral der letzten Gleichung $t = \frac{F}{f}\sqrt{\left(1+\frac{1}{45\,d}\right)}\left(\sqrt{\frac{A}{g}}-\sqrt{\frac{x}{g}}\right)$.

Fig. Schenkel mit diesem Gehäuse in die Flüssigkeit eingetaucht, so steigt selbe innerhalb
4. Tab. desselben in die Höhe. Hebt man hierauf diesen Schenkel im Wasser in die Höhe und
52. stösst ihn schnell zurück, so wird noch etwas Flüssigkeit hineintreten und so kann es geschehen, dass der Heber von der Flüssigkeit nach und nach ganz angefüllt wird, weil das Ventil das Zurückströmen der Flüsigkeit beständig verhindert. Hat die Flüssigkeit den höchsten Stand c erreicht, oder wird der Heber zu diesem Behufe etwas umgelegt, so fängt er zu fliessen an. Bei dieser Konstruktion hat man nur darauf zu sehen, dass das Klappenventil nicht schwer und sehr leicht beweglich sey.

Fig. Will man bei dem Ausflusse des Wassers aus dem Heber eine gleichförmige
5. Geschwindigkeit und demnach einen gleichen Abfluss bewirken, so wird auf die Oberfläche der Flüssigkeit ein schwimmender Kranz A B gelegt uud der kürzere Schenkel durch denselben gesteckt. Wie nun die Oberfläche des Wassers im Gefässe sinkt, geht auch der Kranz und mit demselben der ganze Heber gleichförmig herab; es bleibt demnach immer derselbe Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel im Gefässe und der Ausflussöffnung; der Abfluss ist daher gleichförmig.

Fig. Ein Heber kann auch zur Erzeugung eines springenden Strahles ge-
6. braucht werden. Nach der obigen Theorie fliesst nämlich das Wasser aus dem längern Schenkel desto schneller heraus, je tiefer die Ausflussöffnung unter dem Wasserspiegel im Gefässe liegt. Wird daher das Ende des längern Rohres aufwärts gebogen und eine Platte mit kleiner Oeffnung aufgeschraubt, so springt das Wasser wie bei einem Springbrunnen in die Höhe.

Fig. Hierher gehört noch der sich selbst füllende und entleerende Heber (*diabetes*),
7. welcher schon dem *Heron* bekannt war Dieser Heber wird auf verschiedene Art konstruirt und gewöhnlich als ein versteckter Heber eingerichtet. Ist A B C D ein bodenloses gläsernes Gefäss, welches bei E F durch einen Korkstöpsel geschlossen ist, und wird eine heberförmig gebogene Röhre a c b durch diesen Stöpsel so gesteckt, dass eine Oeffnung b der Röhre unter den Stöpsel und die zweite a über denselben zu stehen kommt, so kann man das Gefäss A B E F bis nahe an seine Oberfläche mit Wasser füllen, ohne dass etwas herausläuft. Wie sich aber die Flüssigkeit über die Krümmung des Rohres bei c erhebt, so fliesst sie sogleich durch den längern Schenkel c b bei b heraus und es entleert sich das Gefäss A B E F bis zu dem untersten Punkte a des krumm gebogenen Rohres. Bringt man diesen Heber in dem Handgriffe a c b des Bechers A an, so wird
Fig. 8. der letztere ein Vexirbecher genannt.

Weitere Anwendungen des Hebers, welche bloss physikalischen Experimenten zum Grunde liegen, gehören nicht hierher. Wir bemerken daher nur noch, dass ein Heber im luftleeren Raume nicht fliessen könne, weil er auf dem Drucke beruht, welchen die Luft an beiden Enden des Hebers ausübt.

§. 194.

Bei Schiffahrtskanälen wird der Heber manchmal dazu gebraucht, die überflüssigen Wässer abzuführen. Dieses ist bei dem Kanale von *Languedoc* oder *Canal du Midi* der

Fall. Derselbe läuft nämlich an einigen Orten am Abhange von Gebirgen fort, so dass er alles von denselben herabströmende Wasser aufnimmt. Um dieses Wasser, welches den Dämmen gefährlich werden könnte, wieder abzuführen, brachte man zuerst an dem Kanale steinerne Uiberfälle (Abzugsröschen) mit Schützen an, welche durch Menschen bei dem Steigen des Wasserspiegels im Kanale geöffnet wurden. Da man diess später als nicht genügend erkannte, so wurden gemauerte Heber (*épanchoir à siphon*) angelegt, wovon Fig. 9 den Durchschnitt und Fig. 10 den Grundriss enthält. Der kürzere Schenkel befindet sich 65 *decimeter* über der Sohle des Kanals und der untere Theil b der gebogenen Oeffnung wurde in das *Niveau* des Wasserspiegels bei dem mittleren Stande des Kanales gelegt. Die Höhe der Oeffnung beträgt ab = 5 *decimeter*. Der längere Schenkel des Hebers geht ausserhalb dem Kanale über die Dämme herab und es sind gewöhnlich zwei grössere Oeffnungen und eine kleinere in der Mitte angebracht. Es leuchtet ein, dass wenn die Oeffnung ab einmal ganz gefüllt ist, der Heber so lange fliessen würde, bis alles Wasser bis e im Kanale abgeführt ist. Um diess zu vermeiden, hat man über jeden kürzern Schenkel auf der Höhe des mittleren Wasserstandes im Kanale ein horizontales Luftrohr cd (*ventouse*) angebracht, wodurch die Luft, sobald das Wasser auf seinen mittleren Stand im Kanale fällt, in den Heber geleitet und so der weitere Abfluss des Wassers durch den Heber aufgehoben wird.

Fig. 9 und 10. Tab. 52.

Aus der Wirkung des Hebers erklärt sich, warum einige Quellen bei feuchter Witterung zuweilen ausbleiben und bei der nachfolgenden trockenen Witterung wieder fliessen. Ein auffallendes Beispiel dieser Art haben wir in der österreichischen Monarchie an dem Zirknitzer See in Krain, auf dessen Boden man nach den Berichten der Geographen manchmal in einem Jahre säen, ärnten, fischen, und auch noch jagen kann. Der Beschreibung zufolge, welche von diesem See und andern ähnlichen Naturmerkwürdigkeiten Krains in: „*Tob. Grubers* Briefen hydrographischen Inhalts aus Krain an den Hofrath v. *Born*, Wien 1781." enthalten ist, hat dieser See beinahe 3 Quadratmeilen Flächeninhalt. Die Grundlage desselben ist Kalkstein, worauf verschiedene Erdarten aufgeschwemmt sind. In dem Kalksteine befindet sich eine unzählige Menge grosser und kleiner Ritze, Höhlen und Schlünde, aus welchen das Wasser aufwallend, ja selbst spritzend und sprudelnd in grösserer und kleinerer Menge herausdringt. Aus den grössern Höhlen werden so grosse Fische häufig ausgeworfen, dass hierdurch auf dem ganzen See von den angrenzenden Dominien seit undenklichen Zeiten eine gesetzmässige und bedeutende Fischerei Statt findet. An einigen andern Orten in dieser Gegend dringt das Wasser so heftig aus dem Erdboden, dass zunächst daran Sägen- und andere Mühlwerke angelegt sind. Die ganze Gegend kann demnach als gleichsam ein grosses Sieb angesehen werden, worin trichterförmige Löcher alles Wasser, das über die Oberfläche des Gebirges fällt, einsaugen und den unterirdischen Wasserbehältnissen zuführen. Einige dieser Höhlen verschlingen Wasser, wenn der See im Abfliessen ist und stossen dasselbe aus, wenn er anzuschwellen anfängt. Aus der Höhle *Vranja Jama* und einer andern *Sucha dulza* genannt, strömt zuweilen eine so bedeutende Wassermenge aus, dass der See binnen wenig Stunden angefüllt wird. Dagegen verschlingt die sogenannte *Karlauza* schnell wieder das Wasser.

Dass diese Höhlen unterirdisch zusammenhängen und das aufgenommene Wasser wieder an einem entfernten Orte von sich geben, unterliegt wohl keinem Zweifel. Das Auffallende hierbei ist, dass die Höhlen zeitweilig so entleert sind, dass man hineingehen und ihre Formazion beobachten kann, wobei das hörbare Geräusch das Fliessen eines unterirdischen Wassers beweist. Dagegen sind diese Höhlen zu andern Zeiten so sehr vom Wasser angefüllt, dass eine bedeutende Menge hiervon herausquillt. Zur Erklärung dieser Erscheinungen hat man angenommen, dass in dem anliegenden Gebirge mehrere grosse Klüfte enthalten sind, in denen sich das Wasser sammelt, und dass sich dieselben heberartig entleeren, wenn das Wasser eine bestimmte Höhe erreicht hat. Auf solche Art werden nun die untern Höhlen plötzlich so mit Wasser überfüllt, dass sie in den See ausströmen. Hieraus wird es nun begreiflich, wie ein grosser Theil des Zirknitzer Sees anlaufen und dann gefischt werden, wie aber auch zu einer andern Zeit ein Theil hiervon wieder trocken gelegt und angebaut werden könne.

§. 195.

Es dürfte unsern Lesern nicht unangenehm seyn, einige **Anwendungen des Hebers**, welche vor einigen Jahren in Böhmen Statt hatten, kennen zu lernen.

Bei einem Eisenwerke wurde in bedeutender Entfernung von den Hochöfen und Eisenhammerhütten ein Sammelteich zu dem Zwecke erbaut, um die Frühjahrs- und hohen Sommerwässer darin aufzuhalten und sie durch eine längere Zeit für die Werke benützen zu können. (Fig. 11. Tab. 52.) Einige Zeit nach diesem Baue entschloss man sich unter diesem Teiche eine Zain- oder Stabhütte anzulegen und die Höhe des Teichdammes als Gefälle für die Wasserräder zu benützen. Da die Einlegung einer hierzu bestimmten Röhre gefordert haben würde, den Teichdamm abermals durchzugraben, und dann wieder zu schliessen, so hat man zur Schonung des gut ausgeführten Dammbaues vorgezogen, das Teichwasser mittelst eines Hebers über den Damm herüber zu führen. Zu dieser Absicht wurde über die Krone des Dammes und die beiderseitigen Böschungen eine gusseiserne Röhre ABCDEH gelegt und dieselbe an beiden Enden mit Ventilen versehen. In dieser Röhre wurde oben an der Krone des Dammes eine konische Oeffnung G zu dem Behufe angebracht, um die Röhre, nachdem die Ventile geschlossen wurden, mit Wasser anfüllen zu können. Als diese Oeffnung wieder geschlossen war, wurde zuerst das Ventil an der Teichöffnung A und dann das zweite im Mühlgerinne bei H geöffnet, worauf das Wasser aus dem Teiche in das Gerinne floss.

Bezeichnet f die Querschnittsfläche der Röhre im Lichten, und A die Druckhöhe MH, so ist der Wasserzufluss in 1 Sekunde $= f \cdot 2\sqrt{g \cdot A}$. Wird aber hierbei auf die Widerstände der Röhrenwände Rücksicht genommen, so ist die Wassermenge $= \frac{f \cdot 2\sqrt{g \cdot A}}{\sqrt{\left(1 + \frac{l}{45\, d}\right)}}$, wo l die ganze Länge der Röhre und d ihren innern Durchmesser bezeichnet.

Beispiel. Nehmen wir die Länge der Röhre $l = 100$ Fuss, den Durchmesser derselben $d = 1$ Fuss, demnach ihre Querschnittsfläche $f = {}^{11}/_{14}$ Quad. Fuss und die Druckhöhe $A = 18$ Fuss, so ist die in jeder Sekunde ausfliessende Wassermenge $= \frac{{}^{11}/_{14} . 2 \sqrt{15{,}5 . 18}}{\sqrt{\left(1 + \frac{100}{45 . 1}\right)}} = 14{,}6$ Kubikfuss. Diese Wassermenge findet jedoch nur bei dem ersten Stande des Wasserspiegels im Behälter Statt, und ist auch für den Betrieb eines Hammers zu gross. Da jedoch der Wasserspiegel im Sammelteiche sich fortwährend senkt, und hiermit auch das Gefälle A vermindert, so muss die für den Hammer nöthige Wassermenge durch Erhebung des Ventiles bei H auf die gewöhnliche Art regulirt werden.

§. 196.

In dem vorgenannten Falle entstand noch die weitere Frage, **auf welche Höhe das Gerinne zu stellen sey, damit durch den Hammer die meiste Arbeit zu Stande gebracht werden könne.**

Zur Auflösung dieser Frage wollen wir abermals wie Seite 165 annehmen, dass die Begränzungen der Oberfläche des Wassers für jede Höhe des Wasserstandes einander ähnlich sind, dass wir sonach bei der Berechnung des kubischen Inhaltes des Teichwassers von einer Höhe zur andern uns der Gleichung für einen abgestutzten Kegel bedienen können. Es sey die Oberfläche des Wassers anfangs, wenn der Teich ganz voll ist, $= F$, die Länge des Teiches $= L$, das Gefälle des Terrains, in welchem sich der Teich befindet, sey α für die Länge λ, so wird nachdem der Wasserspiegel um α Fuss gefallen ist, die Länge des Teiches um λ kürzer werden, folglich die wirkliche Länge nur $= L - \lambda$ seyn. Wenn wir annehmen, dass die Begränzungen der Oberflächen des Teiches bis zur Tiefe x einander ähnlich bleiben, so wird auf dieser Tiefe die analoge Länge des Teiches $= L - \frac{\lambda . x}{\alpha}$ seyn, und da sich die Flächen wie die Quadrate ähnlicher Seiten verhalten, so haben wir die Proporzion $L^2 : \left(L - \frac{\lambda . x}{\alpha}\right)^2 = F : f$, woraus $f = F\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L}\right)^2$ folgt. Der kubische Inhalt des Wasserkörpers von der Höhe x zwischen den Flächen F und f wird demnach

$$= \frac{x}{3}(F + \sqrt{F . f} + f) = x . F\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2}{3\alpha^2 . L^2}\right) \text{ seyn.}$$

Wir werden in der Folge sehen, dass die Arbeit der Wasserräder ein Maximum wird, wenn das Produkt aus der verbrauchten Wassermenge in das Gefälle am grössten ist. Setzen wir in unserm Falle die Höhe des Wasserspiegels über dem Wasser im Abflussgraben $= H$, so ist die Fallhöhe, welche die oben angeführte Wassermenge über das Rad herab zurücklegt, $= H - x$. Das Wasser wird daher am vortheilhaftesten verwendet, wenn $(H - x)\, x . F\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2}{3\alpha^2 . L^2}\right)$ ein Maximum wird. Nach der unten beigesetzten

höhern Rechnung *) findet diess Statt, wenn $x = \frac{H}{3}\left\{1 + \frac{\frac{1}{2} - \frac{\lambda . H}{2\alpha . L} + \frac{5\lambda^2 . H^2}{54\alpha^2 . L^2}}{1 - \frac{1}{9}\cdot\frac{\lambda^2 . H^2}{\alpha^2 . L^2}}\right\}$ ist.

Beispiel. Es sey das Gefälle am Anfange des Teiches von der Art, dass die Tiefe $\alpha = 1$ Fuss für eine Länge von $\lambda = 80$ Fuss ist, demnach $\frac{\alpha}{\lambda} = \frac{1}{80}$, die Länge des Teiches sey $L = 2400$ Fuss, die Höhe des Wasserspiegels im Teiche über dem Abflusswasser $H = 36$ Fuss, folglich $\frac{\lambda . H}{\alpha . L} = 1{,}2$. Hieraus folgt für die Anlage der Teichrinne die vortheilhafteste Tiefe unter dem höchsten Wasserspiegel

$$x = \frac{36}{3}\left\{1 + \frac{\frac{1}{2} - \frac{1{,}2}{2} + \frac{5}{54}\cdot 1{,}44}{1 - \frac{1}{9}\cdot 1{,}44}\right\} = 12 + 0{,}48 = 12{,}48 \text{ Fuss.}$$

Man sieht hieraus, dass für die Einlegung der Fluthrinnen, durch welche das Wasser auf oberschlächtige Räder zugeführt wird, die Regel angenommen werden könne, dass dem Oberwasser ein Drittheil der ganzen Fallhöhe und den Rädern zwei Drittel derselben Fallhöhe zu geben sey.

§. 197.

Ein anderer hierher gehöriger Fall der Anwendung eines Hebers war folgender:

Fig. 1 und 2. Tab. 53. Bei einer Teichmühle war von den Vorfahren ein höherer Damm zu dem Zwecke aufgeführt worden, damit der Teich von den Schnee- und höhern Sommerwässern mehr angefüllt werden, und daher der Mühle einen längern Gang gewähren möchte. Da die Teichröhre zu demselben Zwecke niedriger als gewöhnlich unter dem Wasserspiegel angelegt war, so kam der Müller, dem nicht erlaubt wurde, zwei Röhren in verschiedenen Höhen in den Teichdamm zu legen, auf den Gedanken, das Wasser hinter dem Damme aus der Teichröhre in eine grössere Höhe wieder aufsteigen zu lassen und durch Erhöhung des Gerinnes für das Rad ein grösseres Gefälle zu erhalten, demnach auf solche Art den obern Theil des Teiches auf das höhere Gerinne und dann noch das niedrigere Wasser auf das bestehende niedrigere Gerinne seiner Mühle zuzuführen. Die Ansicht dieser Vorrichtung gab die Gelegenheit zur Beantwortung der Frage, **auf welche Höhen beide Gerinne zu legen sind, um das hervorgebrachte Mahlquantum möglichst gross zu machen.**

Für diesen Fall sey die Oberfläche des Teichwassers anfangs, so lange derselbe

*) Wird nämlich das Differenzial dieser Gleichung = 0 gesetzt, so erhalten wir

$$H . F\left(d x - \frac{2\lambda . x . d x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2 . d x}{\alpha^2 . L^2}\right) - F\left(2 x . d x - \frac{3\lambda . x^2 . d x}{\alpha . L} + \frac{4\lambda^2 . x^3 . d x}{3\alpha^2 . L^2}\right) = 0.$$

Hieraus folgt $1 - 2\left(1 + \frac{\lambda . H}{\alpha . L}\right)\frac{x}{H} + \frac{3\lambda . H}{\alpha . L}\left(1 + \frac{\lambda . H}{3\alpha . L}\right)\frac{x^2}{H^2} - \frac{4}{3}\cdot\frac{\lambda^2 . H^2}{\alpha^2 . L^2}\cdot\frac{x^3}{H^3} = 0$

und endlich $\frac{x}{H} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6}\left\{\frac{1 - \frac{\lambda . H}{\alpha . L} + \frac{5}{27}\cdot\frac{\lambda^2 . H^2}{\alpha^2 . L^2}}{1 - \frac{1}{9}\cdot\frac{\lambda^2 . H^2}{\alpha^2 . L^2}}\right\}$.

ganz voll ist $= F$, und die Tiefe, auf welche das Gerinne für die Zuleitung des Wassers auf das grosse Rad zu liegen kommt $= x$. Wenn wir die in der vorhergehenden Rechnung angeführten Bezeichnungen beibehalten, und auch die Wasseroberflächen bei verschiedenen Wasserhöhen einander ähnlich voraussetzen, so ergibt sich auf gleiche Art, wie in der vorigen Rechnung auf der Tiefe x die Oberfläche des Wassers $= F\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L}\right)^2$, und eben so der kubische Inhalt des Wasserkörpers für die Tiefe x $= x . F\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)$. Setzen wir weiters die Höhe des Wasserspiegels über dem Wasser im Abflussgraben $= H$, so ist das Gefälle, mit welchem die berechnete Wassermenge über das grosse Rad herabfliesst $= H - x$ und daher das Bewegungsmoment $x . F\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)(H - x)$. Fig. 1 und 2. Tab. 53.

Nachdem nun der Wasserspiegel im Teiche um die Tiefe x gesenkt wurde, so tritt die Benützung des noch übrigen Wassers für das zweite kleinere Rad ein. Es sey die Tiefe unter dem bereits gesenkten Wasserspiegel $= z$, bis zu welcher das Wasser zur Betreibung des kleinern Rades benützt werden soll, so ist die ganze Tiefe unter dem anfänglichen Wasserspiegel $= x + z$, die wir indessen mit y bezeichnen wollen. Die Wassermenge für die Tiefe y, welche nämlich vom ganzen Teiche benützt wird, ist offenbar $y . F\left(1 - \frac{\lambda . y}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . y^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)$. Wird hiervon diejenige Wassermenge abgezogen, welche schon über das grosse Rad abgeflossen ist, so ist die für das kleine Rad zu benützende Wassermenge $= F . y\left(1 - \frac{\lambda . y}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . y^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right) - F . x\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)$ und da das, für das zweite Rad zu benütze de Gefälle $= H - y$ ist, so erhalten wir das Bewegungsmoment des zweiten Rades

$$= F . y\left(1 - \frac{\lambda . y}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . y^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)(H - y) - F . x\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)(H - y).$$

Das ganze Bewegungsmoment, welches das Wasser durch die Benützung auf beide Räder gibt, ist daher

$$F . y\left(1 - \frac{\lambda . y}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . y^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)(H - y) + F . x\left(1 - \frac{\lambda . x}{\alpha . L} + \frac{\lambda^2 . x^2}{3\,\alpha^2 . L^2}\right)(y - x),$$

welches also bei der vortheilhaftesten Benützung des Wassers ein Maximum seyn muss. Die unter dem Texte beigefügte höhere Rechnung *) zeigt, in welchem Falle dieses Statt findet.

*) Da in dieser Gleichung zwei unbekannte Grössen x und y vorkommen, so muss dieser Ausdruck sowohl in Beziehung auf y als in Beziehung auf x ein Maximum seyn. Der erste Theil wird zu einem Maximum, wenn $y = \frac{H}{3}\left\{1 + \frac{\frac{1}{2} - \frac{\lambda . H}{2\,\alpha . L} + \frac{5}{54} . \frac{\lambda^2 . H^2}{\alpha^2 . L^2}}{1 - \frac{1}{9} . \frac{\lambda^2 . H^2}{\alpha^2 . L^2}}\right\}$ ist. Auf gleiche Art wird der zweite Ausdruck zu einem Maximum, wenn $x = \frac{y}{3}\left\{1 + \frac{\frac{1}{2} - \frac{\lambda . y}{2\,\alpha . L} + \frac{5}{54} . \frac{\lambda^2 . y^2}{\alpha^2 . L^2}}{1 - \frac{1}{9} . \frac{\lambda^2 . y^2}{\alpha^2 . L^2}}\right\}$ gesetzt wird.

Beispiel. Es sey wie im vorigen Falle $H = 36$ Fuss, $\frac{\lambda}{\alpha} = 80$ und $L = 2400$ Fuss, so findet man durch Substituzion in die unter dem Texte abgeleiteten Gleichungen $y = 12{,}5$ Fuss und $x = 5\frac{1}{2}$ Fuss.

Für dieses Beispiel ergibt sich weiter die Wassermenge, welche im Ganzen aus dem Teiche benützt wird $= 8{,}015$ F. Hiervon wird auf das grosse Rad die Wassermenge $= 4{,}553$ F geleitet, es bleibt demnach zur Benützung für das kleinere Rad $3{,}462$ F. Das Gefälle für das grosse Rad ist $= 30{,}5$ Fuss, und wenn dieses mit der Wassermenge multiplizirt wird, ergibt sich das Arbeitsmoment $= 138{,}87$ F. Das Gefälle des kleinern Rades ist $= 23{,}5$ Fuss und gibt mit seiner Wassermenge multiplizirt, das Arbeitsmoment $= 81{,}36$ F. Die Summe beider Arbeitsmomente beträgt daher $220{,}23$ F.

Wenn wir aber die ganze Wassermenge bloss mit dem Gefälle des kleinen Rades, also mit $23{,}5$ Fuss multipliziren, so erhalten wir das Arbeitsmoment nur $= 188{,}35$ F. Durch die Benützung desselben Wassers auf das höhere und niedrigere Rad wird daher die Arbeit in dem Verhältnisse wie $6:7$ vermehrt.

§. 198.

Zur nöthigen Vollständigkeit der Lehre von der Bewegung des Wassers in Hebern müssen wir noch von derjenigen Bewegung handeln, welche hervorgebracht wird, wenn das Wasser in einem aufrechtstehenden bis an COC' angefüllten Heber entweder durch das Eintreiben und plötzliche Herausziehen eines Stöpsels oder auf andere Art in eine **schwankende Bewegung** gesetzt wird.

Fig. 3. Tab. 53. Das Wasser sey im Schenkel AB von C bis A gehoben worden, so wird es sich in dem andern Schenkel bis A' gesenkt haben. Wird dieser Zustand aufgehoben, so wird das Wasser durch die Uiberwucht in dem einen Schenkel bis zur Horizontalen C sinken und in dem andern eben so viel aufsteigen; weil es aber auf solche Art durch die Bewegung in C eine Geschwindigkeit erlangt hat, so wird es diese Bewegung noch durch den gleichen Raum CB fortsetzen, bis nämlich die entgegenwirkende Kraft ihm diese Geschwindigkeit wieder benommen hat. Dasselbe geschieht im Schenkel $A'B'$. Nun tritt aber die Uiberwucht in dem andern Schenkel in B' über das Wasser in B ein und es erfolgt dieselbe Bewegung zurück, das Wasser wird also auf gleiche Art **wie ein Pendel fortfahren in jedem Schenkel auf und nieder zu steigen.** Die unten beigesetzte Rechnung *) zeigt, dass die **Zeit einer**

Fig. 3. *) Das Wasser im Schenkel AB sey in seiner Bewegung von A bis M herab, und auf der andern Seite von A' bis M' aufwärts gestiegen, so beträgt die Uiberwucht des Wassers in einem Schenkel über den andern so viel als das Gewicht einer Wassersäule, welche die Querschnittsfläche des Hebers f zur Grundfläche und die Höhe $CM + C'M'$ zur Höhe hat. Setzen wir also die Länge des gefüllten Hebers $COC' = l$, so ist die zu bewegende Masse $= f.l$, und wenn wir die Höhe $AC = a$ und den beschriebenen Raum $AM = x$ setzen, so ist $CM = a - x = C'M'$, demnach ist die Uiberwucht $=$ dem Gewichte der Wassersäule $2f(a - x)$. Nun gibt uns die allgemeine Regel der Dynamik folgende Proporzion: Das Gewicht der Wassersäule $l.f$ würde demselben beim freien Falle in der Zeit dt die Geschwindigkeit $2g.dt$ beibringen : das Gewicht $2f(a - x)$ gibt also der Geschwindigkeit c des Wassers in M noch den Zusatz dc. Das Produkt aus den äussern und innern

Schwingung, in welcher nämlich das Wasser von einer Erhöhung zur nächstfolgenden in demselben Schenkel zurückkehrt $= \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ sey, wenn die Länge des mit Wasser gefüllten Hebers $COC' = l$ ist. Aus der Mechanik fester Körper wissen wir aber, dass wenn ein Körper im freien Falle durch die Länge l herabfällt, die hierzu erforderliche Zeit $= \sqrt{\frac{l}{g}}$ ist. Es verhält sich demnach die Schwingungszeit des Wassers im Heber, zur Zeit, in welcher dasselbe Wasser durch die Länge l herabfällt, wie $\pi : 1$ oder wie die Peripherie des Kreises zum Durchmesser. Hieraus sehen wir, dass die Schwingungszeiten alle einander gleich sind, und dass jede um so grösser ist, je grösser die Länge l des im Heber befindlichen Wassers ist. Die Querschnittsfläche des Hebers und die Höhe der Erhebung des Wassers haben hierauf gar keinen Einfluss. Eine ähnliche Eigenschaft hat man an den Wellen des Meeres bemerkt, wovon wir später noch umständlicher handeln werden. Fig. 3. Tab. 53.

§. 199.

Unter den Anwendungen des Hebers wird gewöhnlich der sogenannte Heronsbrunn angeführt. Der angebliche Erfinder desselben war ebenfalls *Heron* von *Alexandrien*, welcher 120 Jahre v. Chr. lebte. Der Heronsbrunn besteht aus zwei von allen Seiten luftdicht geschlossenen Wasserbehältern M und N, welche mit einander durch zwei Röhren verbunden sind. Das Ende der einen Röhre befindet sich in dem obern Deckel A B Fig. 4.

Gliedern dieser Proporzion gibt $f.l.dc = 2f(a-x)2g.dt$. Der Raum, den das Wasser in der Zeit dt bei der Fortsetzung seiner Bewegung von M mit der Geschwindigkeit c zurücklegt, ist offenbar $dx = c.dt$. Daraus folgt $dt = \frac{dx}{c}$. Dieser Werth in die obige Gleichung gesetzt, gibt nach der Division mit f die Gleichung $l.c.dc = 2(a-x)2g.dx$. Diese Gleichung integrirt gibt $l.c^2 = 4g(2a-x)x$. Daraus folgt $c = 2\sqrt{g(2a-x)\frac{x}{l}}$. Fig. 3.

Hieraus sehen wir, dass die Geschwindigkeit von A bis C immer zunimmt, in C aber, wo $x = a$ am grössten ist, und von C abwärts bis B wieder abnimmt und in $B = 0$ ist. Die Bestimmung der Zeit, in welcher der Raum AB oder die halbe Schwingung zurückgelegt wird, erhalten wir aus der Gleichung $dt = \frac{dx}{2\sqrt{g(2a-x)\frac{x}{l}}}$. Um diese Gleichung auf eine bequeme Art integriren zu können, wollen wir den Bogen $AN = a.\lambda$ oder den Winkel $ACN = \lambda$ setzen, so ist $CM = a - x = a.\mathrm{Cos}\,\lambda$ und $AM = x = a - a.\mathrm{Cos}\,\lambda$, daher $dx = a.d\lambda.\mathrm{Sin}\,\lambda$. Setzen wir diese Werthe in die obige Gleichung, so erhalten wir

$$dt = \frac{a.d\lambda.\mathrm{Sin}\,\lambda}{2\sqrt{\frac{g}{l}(2a-a+a.\mathrm{Cos}\,\lambda)(a-a.\mathrm{Cos}\,\lambda)}} = \frac{a.d\lambda.\mathrm{Sin}\,\lambda}{2\sqrt{\frac{g}{l}(a^2-a^2.\mathrm{Cos}^2\lambda)}} = \frac{d\lambda}{2}\sqrt{\frac{l}{g}},$$ daraus

folgt $t = \frac{\lambda}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$. Demnach erhalten wir die Zeit, in welcher das Wasser von A bis B kommt, wenn wir $\lambda = \pi$ setzen, und diese ist $T = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$, und eben so ist die Zeit, in welcher das Wasser von B nach A zurückkehrt oder $T' = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$. Also ist die Zeit einer Schwingung oder die Zeit der Rückkehr von einer Erhöhung zur nächst folgenden $T + T' = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Fig. 4. Tab. 53. luftdicht befestigt, geht durch den untern Boden des obern Gefässes M, dann durch den obern Boden des untern Gefässes N luftdicht durch und endet sich bei F in der Nähe des untern Bodens. Das andere Rohr ist in dem obern Boden des untern Gefässes befestigt, geht durch den untern Boden des obern Gefässes durch und endigt sich bei D unterhalb des obern Bodens.

Das obere Gefäss wird zuerst durch eine Oeffnung in dem Oberboden bei m mit Wasser so hoch angefüllt, dass es die obere Oeffnung D der Luftröhre D E nicht übersteigt, sodann wird die Oeffnung m durch einen eingeschraubten Stöpsel luftdicht verschlossen. Hierauf wird in das obere Becken A B Wasser aufgegossen, welches durch die Röhre C F in den untern Behälter abfliesst, daselbst sich über den Boden verbreitet und die in N befindliche Luft durch die Luftröhre E D in das obere Gefäss hinauftreibt. Durch den Druck, welcher hierdurch auf die Oberfläche L K des Wassers in dem obern Gefässe entsteht, wird das Wasser genöthigt in die Steigröhre P O aufzusteigen, und am Ende derselben bei O einen Springbrunnen zu bilden. Sobald sich das Wasser zeigt, so wird der Hahn n geschlossen, und das Instrument ist für ein Experiment vorbereitet; man kann es daher an den Ort bringen, wo der Strahl zu springen hat. Ist es daselbst aufgestellt, so wird das obere Becken mit Wasser angefüllt, der Hahn n geöffnet und das Wasser steigt bei O über das Becken in die Höhe, bildet so den verlangten Springbrunnen und fährt ohne weiteres Zugiessen so lange fort, bis das obere Gefäss geleert und das untere Gefäss durch die Röhre C F von dem Wasser des springenden Strahles angefüllt ist.

§. 200.

Zur Berechnung der Höhe, auf welche das Wasser über O springt, sey die Höhe C F = A, P O = B, die Höhe des Wassers im obern Gefässe = b und die Höhe des Wassers im untern Gefässe = a. Aus der angeführten Erklärung ist ersichtlich, dass die Luft in dem untern Behälter von der Wassersäule A — a gedrückt wird, und eben so gross ist der Druck auf die Oberfläche des Wassers im obern Gefässe. Diesem Drucke steht die Höhe B — b entgegen, und hierzu kommt noch die Wassersäule h des springenden Strahles und die Widerstandshöhe der Röhren, durch welche das Wasser fliessen muss. Setzen wir den Durchmesser der Einfallsröhre C F = D, der Steigröhre P O = d und des Gussrohres bei O = e, die Geschwindigkeit, womit das Wasser aus der Mündung O ausfliesst $= c = 2\sqrt{g \cdot h}$, so ist die Geschwindigkeit, womit das Wasser in der Steigröhre aufsteigt $= \frac{c \cdot e^2}{d^2}$, und die Geschwindigkeit, womit das Wasser in der Einfallsröhre zufliesst $= \frac{c \cdot e^2}{D^2}$. Demnach ist der Druck auf die im untern und obern Behälter eingeschlossene Luft = der Wassersäule

$$A - a - \frac{A}{45\,D}\left(\frac{c^2}{4\,g} \cdot \frac{e^4}{D^4} + \frac{c \cdot e^2}{100\,D^2 \cdot \sqrt{D}}\right).$$

Diesem Drucke steht die Wassersäule

$$h + B - b + \frac{B}{45\,d}\left(\frac{c^2}{4\,g} \cdot \frac{e^4}{d^4} + \frac{c \cdot e^2}{100\,d^2 \cdot \sqrt{d}}\right)$$

entgegen. Da diese Wassersäulen einander gleich sind, so ist.

$$A - a - \frac{A}{45\,D}\left(\frac{c^2}{4\,g} \cdot \frac{e^4}{D^4} + \frac{c \,.\, e^2}{100\,D^2 . \sqrt{D}}\right) = \frac{c^2}{4\,g} + B - b + \frac{B}{45\,d}\left(\frac{c^2}{4\,g} \cdot \frac{e^4}{d^4} + \frac{c \,.\, e^2}{100\,d^2 . \sqrt{d}}\right)$$

Wenn nun $D = d$ gesetzt wird, so erhalten wir:

$A + b - a - B = \frac{c^2}{4\,g}\left\{1 + \frac{(A + B)\,e^4}{45\,d\,.\,d^4}\right\} + \frac{c\,(A + B)}{45\,d} \cdot \frac{e^2}{100\,d^2 . \sqrt{d}}$. Aus diesem Ausdrucke lässt sich die Geschwindigkeit c, demnach auch die Steighöhe $h = \frac{c^2}{4\,g}$ und die Dauer des Experimentes berechnen.

Beispiel. Es sey die Höhe $A = 30$ Zoll, $B = 6$ Zoll und für den mittlern Stand $a = b = 3$ Zoll, dann $e = \frac{1}{12}$ Zoll und $D = d = \frac{1}{6}$ Zoll, so ist $\frac{e}{d} = \frac{1}{2}$ und $100\,\sqrt{d} = 100\,\sqrt{\frac{1}{6}} = 40$ beinahe, demnach $A + B = 36$ Zoll und $A + b - a - B = 24$ Zoll, dann $\frac{e^4}{d^4} = \frac{1}{16}$ und $\frac{e^2}{d^2} = \frac{1}{4}$. Hieraus ergibt sich die Gleichung

$24 = \frac{c^2}{744} \cdot 1{,}3 + c \,.\, 0{,}03$ und $c = 108{,}93$ Zoll, demnach $h = \frac{c^2}{4\,g} = 15{,}95$ Zoll.

Die ausfliessende Wassermenge in 1 Sekunde ist $0{,}813 \,.\, \frac{1}{4} \,.\, \pi \,.\, e^2 \,.\, c = 0{,}483$ Kub. Zoll. Ist nun der Wasserinhalt des obern Gefässes $\frac{1}{3}$ Kub. Fuss oder 576 Kub. Zoll, so finden wir die Dauer des springenden Strahles $= \frac{576}{0{,}483} = 1192{,}5^{\text{Sec.}}$ oder nahe $20^{\text{Min.}}$. Bei dem Anstellen dieses Versuches wird man bemerken, dass der Strahl anfangs höher, gegen das Ende dieser Zeit aber niedriger steigt, wovon die Ursache darin liegt, weil für die drückende Wassersäule $= A + b - a - B$ am Anfange $a = 0$ und am Ende $b = 0$ ist, folglich die drückende Wassersäule am Anfange grösser und am Ende kleiner ist.

§. 201.

Eine weitere Anwendung der Grundsätze des Hebers und des Heronsbrunnes gibt die vom Oberkunstmeister *Joseph Karl Höll* in *Schemnitz* erfundene und im Jahre 1753 bei dem Amalienschachte aufgestellte Luftmaschine. Die Hauptbestandtheile dieser Maschine sind: zwei Wasserbehälter A und L, zwei Wasserkessel D und H und drei Leitungsröhren B, G und S. In dem Wasserkessel D wird die eingeschlossene Luft durch die eingeleiteten Aufschlagwässer zusammengedrückt. Diese Luft ist mittelst der Luftröhre G mit der Luft über dem zu hebenden Wasser im Kessel H in Verbindung und durch ihren Druck wird das in H eingeschlossene Wasser durch die Steigröhre S in die Höhe getrieben und zum Ausfluss gebracht. Fig. 5. Tab. 53.

In dem Wasserbehälter A werden nämlich die Aufschlagwässer zusammengeführt. Aus diesem Wasserbehältniss geht die Einfallsröhre B in den Kessel D herab; diese dient, dem Kessel D das Aufschlagwasser zuzuführen, und ist bei C mit einem Hahne versehen, um dadurch die Einfallsröhre absperren und eröffnen zu können. An dem Kessel D ist unten eine Ausflussröhre E und oben noch eine kleine Röhre F zur geschwindern Entweichung der Luft angebracht; beide Röhren sind mit Hähnen versehen, um durch die untere Röhre den vollen Kessel abzulassen, und durch den Zutritt der Luft mittelst der Eröffnung der obern Röhre den Abfluss zu befördern. Aus dem Deckel des Kessels D geht die Luftröhre G heraus und durch den Schacht hinab bis in den untern mit Wasser gefüllten und verschlossenen Kessel H. Diese Luftröhre ist oben mit einem

Fig. 5 und 6. Tab. 53. Hahne J versehen. Die Schlüssel dieses und des Hahnes C hat *Höll* mit einer Kette verbinden lassen, damit sie zugleich geschlossen werden können. In der Nähe des untern Kessels befindet sich das Behältniss L, in welches die von der Maschine zu hebenden Grubenwässer zusammen geleitet werden. Aus diesem Behälter geht eine Röhre M in den Kessel H, um die Grubenwässer in den Kessel einzuleiten. Aus dem untern Kessel H geht von dessen Boden aufwärts die Steigwasserröhre S heraus, welche durch den Schacht in die Höhe bis in den Ablaufstollen geführt wird, und daselbst das gehobene Grubenwasser ausgiesset. Zur Verhinderung des Wasserzurücktritts in diesen Kessel ist diese Steigröhre unmittelbar über den Kessel mit einem Muschelventil (Fig. 6) versehen.

Zur Bedienung dieser Maschine hatte *Höll* zwei Kunstwärter angestellt, nämlich einen bei dem obern und einen bei dem untern Kessel.

Wenn bei dem Gange der Maschine der obere Kunstwärter bemerkt, dass das Wasser aus dem Steigrohre mit vielem Geräusche und Luft vermischt ausfliesst und hierdurch erfährt, dass der vorhergegangene Hub vollendet ist, so schliesst er durch Anziehen der Kette die beiden Hähne C und J, damit durch den erstern der Einfluss des Wassers abgesperrt werde, und durch Absperrung des zweiten die zusammengepresste Luft noch fortfahren möge, den Ausfluss des Wassers aus der Steigröhre zu vollenden. Sodann eröffnet er den Hahn E, damit das Wasser aus dem Kessel ausfliessen könne, und auch den Hahn F, damit durch den Zutritt der äussern Luft der Ausfluss befördert werde. Hierauf öffnet er am Luftrohre den Hahn J allein, damit die zusammengepresste Luft um so leichter sich ausbreiten und zur Elastizität des atmosphärischen Drucks zurückkehren könne. Zu gleicher Zeit gibt er dem untern Kunstwärter mit dem an einem Drathe befestigten Hammer das verabredete Zeichen, welcher sogleich die beiden Hähne M und N öffnet, wodurch der untere Kessel mit Grubenwasser gefüllt wird. Die gänzliche Anfüllung erkennt er, wenn am obern Hahne N das Wasser auszufliessen anfängt. Sobald das letztere geschehen ist, schliesst der Grubenwärter die beiden Hähne und gibt dem obern Kunstwärter das Zeichen, welcher inzwischen die Hähne E und F am obern Kessel geschlossen hat, und nach erhaltenem Zeichen sogleich den Hahn C der Einfallsröhre öffnet, damit das Aufschlagwasser den obern Kessel füllen kann.

Hierdurch wird die in diesem Kessel befindliche Luft gegen den Deckel des Kessels in die Höhe getrieben und durch die Luftröhre auf das in den untern Kessel befindliche Grubenwasser mit einer solchen Gewalt aufgedrückt, dass das Wasser aus dem untern Kessel durch die Steigröhre in die Höhe steigen, und sich auf den Erbstollen ausgiessen muss. Auf diese Art wird das Spiel der Maschine fortgesetzt.

§. 202.

Bevor wir zur Bestimmung der **Wirkung dieser Maschine** übergehen, haben wir noch vorläufig zu bemerken, dass die Hebung des Grubenwassers im untern Kessel nur dann erst beginnen könne, nachdem die im obern Kessel und im Luftrohre eingeschlossene atmosphärische Luft durch das Aufschlagwasser so weit zusammengedrückt ist, dass ihr Druck der Steighöhe des zu hebenden Wassers gleich ist.

Setzen wir nun den kubischen Inhalt des obern Kessels $= K$, den kubischen Inhalt des Luftrohres $= R$, die Steighöhe von der Mündung des ausfliessenden Grubenwassers bis zur Oberfläche des Grubenwassers im Behältnisse $L = e$ und die Menge des Auf-

schlagwassers, welches im obern Kessel an die Stelle derjenigen Luft treten muss, um welche der zusammengedrückte Luftraum kleiner wird, als derjenige Raum, welchen dieselbe Luft in ihrem atmosphärischen Zustande eingenommen hat $= Q$, so gibt uns das *Mariotte*'sche Gesetz die Gleichung $(K + R)\ h = (K - Q + R)\ (e + h)$, daraus folgt $Q = (K + R) \frac{e}{e + h}$. Setzen wir die Grösse des untern Kessels $= k$, so gibt uns der Umstand, dass am Ende des Hubes der obere Kessel vom Wasser ganz angefüllt, folglich luftleer seyn muss, wenn die verdichtete Luft den untern Kessel ganz angefüllt hat, abermals die Gleichung $(K + R)\ h = (k + R)\ (e + h + a)$, wo a jene Höhe des untern Kessels vorstellt, welche der Steighöhe e am Ende des Hubes zuwächst. Daraus folgt der nöthige kub. Inhalt des obern Kessels und zugleich der Wasserbedarf zu einem Hube $K = k + (k + R) \left(\frac{e + a}{h}\right)$. Fig. 5. Tab. 53.

Wird dieser Werth in die obige Gleichung substituirt, so erhalten wir jenen kub. Inhalt des Aufschlagwassers, welcher vor jedem Hube bloss zur Zusammendrückung der Luft verwendet wird $Q = (k + R) \frac{e}{h} \left(1 + \frac{a}{e + h}\right) = (k + R) \frac{e}{h}$, weil $\frac{a}{e + h}$ gegen 1 vernachlässigt werden kann. Die letzte Gleichung zeigt, dass der Verlust am Einfallwasser hauptsächlich von den Grössen R und k und von dem Verhältnisse $\frac{e}{h}$ abhänge, dass 1tens, wenn die Grösse des untern Kessels gegeben ist, nothwendig sey, das Verhältniss des Luftrohres zum untern Kessel möglichst klein zu machen, und 2tens dass vom Aufschlagwasser um so mehr ohne Wirkung bleibt, je grösser das Verhältniss $\frac{e}{h}$ oder je grösser die Steighöhe ist, auf welche die Grubenwässer gehoben werden müssen, dass folglich diese Maschine nur bei geringern Steighöhen mit Vortheil in Anwendung zu bringen sey.

Bei der Luftmaschine im Amalienschachte zu Schemnitz hatte der untere Kessel die Höhe $a = 60$ Zoll und den Durchmesser $= 32$ Zoll, daraus ergibt sich der kubische Inhalt desselben $k = 28$ Kub. Fuss beinahe. Das Luftrohr war 132 Fuss lang und hatte oben einen Durchmesser von 2 Zoll und gegen den untern Theil verjüngt 1 Zoll, daraus folgt sein kub. Inhalt $R = 1{,}68$ Kub. Fuss. Die Steighöhe war 16 Lachter oder 96 Fuss; die Höhe des atmosphärischen Druckes, welche im N. Oe. Mass gewöhnlich mit 32 Fuss angenommen wird, beträgt im Schemnitzer Bergmass sehr nahe 30 Fuss $= h$. Daraus folgt der kub. Inhalt derjenigen Wassermenge, welche bloss auf das Zusammendrücken der Luft verwendet wird

$Q = (28 + 1{,}68) \frac{96}{30} \left(1 + \frac{5}{126}\right) = 98{,}7$ Kub. Fuss. Die nöthige Grösse des obern Kessels ergibt sich nach der Gleichung $K = k + (k + R) \left(\frac{e + a}{h}\right) = 28 + 99{,}9 = 127{,}9$ Kub. Fuss. Dagegen hatte zu Schemnitz der obere Kessel 5 Fuss Höhe und $4^1/_6$ Fuss im Durchmesser und daher den kub. Inhalt von $68{,}2$ Kubik-Fuss. Hieraus ersehen wir, dass diess Mass für eine angemessene Wirkung der Maschine zu klein war.

§. 203.

Um die Wirkung dieser Maschine vollkommen zu beurtheilen, wäre noch nöthig, die Zeit eines Hubes und demnach die Zeit, während welcher die Luft bloss zusammengedrückt wird, dann aber auch noch die Zeit, während welcher das in dem untern Kessel befindliche Grubenwasser auf die Steighöhe e gehoben wird, zu berechnen. Es versteht sich von selbst, dass die Einfallshöhe in jedem Falle grösser seyn müsse, als die Steighöhe sammt allen hierbei vorkommenden Widerständen und dass es gleichgiltig ist, entweder aus der gegebenen Einfallshöhe die Zeit eines Hubes oder umgekehrt aus der Zeit eines Hubes die Einfallshöhe zu bestimmen. In jedem Falle kann die Wirkung der Maschine nur aus dem Verhältnisse des verwendeten Aufschlagwassers und seiner Einfallshöhe zum gehobenen Grubenwasser und dessen Steighöhe beurtheilt werden, wie sich diess in einer bestimmten Zeit, z. B. in 24 Stunden ergibt.

Da wir die Gesetze der Bewegung der Luft durch Röhren noch nicht abgehandelt haben, so müssen wir eine genaue Berechnung der Luftmaschine bis dahin verschieben. Aus der obigen, nach statischen Grundsätzen vorgenommenen Berechnung haben wir die Menge desjenigen Wassers, welches bei dieser Maschine ohne Wirkung bleibt, kennen gelernt, und wir werden in der Folge sehen, dass dieser Verlust grösser als bei allen andern bekannten Wasserhebmaschinen ist. Der Vortheil der Luftmaschine des *Höll* vor den Pumpwerken und andern Wasserhebmaschinen besteht nur darin, dass die Kessel oder Zylinder nicht gebohrt zu werden brauchen, dass keine Abnützung der Kolbenliederung u. d. m. Statt findet und dass in dieser Hinsicht sowohl zu ihrer ersten Herstellung, als auch zu ihrer fortwährenden Unterhaltung geringere Kosten nothwendig sind. Aus diesen Gründen hat auch diese von *J. K. Höll* im Jahre 1753 aufgestellte Maschine anfangs sehr viel Interesse erregt und man bemühte sich, nicht nur die zwei zur Bedienung der Maschine erforderlichen Arbeiter durch Anwendung einer zweckmässigen Steuerung zu ersparen, sondern auch durch Verbindung mehrerer ähnlichen Maschinensätze die Mittel anzugeben, wie die Grubenwässer aus grössern Teufen, als die Höhe der Aufschlagwässer beträgt, gehoben werden können. Die in dieser Hinsicht vorgeschlagenen Verbesserungen sind in *Gilbert's* Annalen der Physik, XVIII. und XLIII. Band und in andern Schriften angegeben. Inzwischen hat das missliche Verhältnis, welches zwischen dem gehobenen Gruben- und dem verwendeten Aufschlagewasser schon bei der geringen Höhe von 16 Lachtern zu Schemnitz Statt fand, die Veranlassung gegeben, dass diese Maschine an keinem andern Orte aufgestellt und dass auch die in Schemnitz im Jahre 1769 wieder aufgelassen wurde.

V. Kapitel.

Bewegung des Wassers in Kanälen und Flussbetten.

§. 204.

Man versteht gewöhnlich unter Strom (*fleuve*) ein fliessendes Wasser, welches sich unmittelbar in das Meer ergiesst, als z. B. die Elbe, Donau, der Rhein u. s. w.; unter Fluss (*rivière*) wird aber jenes fliessende Gewässer verstanden, welches sich nicht unmittelbar in das Meer, sondern erst in einen Strom ergiesst, und bei der Vereinigung mit dem Strome den Namen verliert, als z. B. die Moldau, Eger, March u. s. w. Endlich wird unter Bach (*Ruisseau*) dasjenige fliessende Gewässer verstanden, welches nicht zur Schiffahrt benützt werden kann, und viel kleiner als jeder Fluss ist.

Unter Kanal wird ein fliessendes oder auch stehendes Gewässer verstanden, welches künstlich ausgegraben wurde, und entweder zur Betreibung von Maschinerien oder aber zur Schiffahrt benützt wird. Die erste Art Kanäle, gewöhnlich Mühlenkanäle genannt, sind sehr häufig bei unsern Getreidemühlen, Bretsägen und andern Maschinenwerken angewendet; die Schiffahrtskanäle sind jedoch in Oesterreich noch wenig in Ausführung gekommen und wurden mehr in flachen Ländern angelegt, wo die Schwierigkeit ihrer Ausführung nicht so gross ist; z. B. in der Lombardie, in den Niederlanden, in England u. s. w., doch sind in neuern Zeiten ebenfalls Kanäle über hohe Gebirge jedoch mit bedeutendem Kostenaufwande angelegt worden.

Bei jedem Strome, Flusse oder Bache sind folgende Gegenstände zu betrachten: 1tens. Der Rinnsaal oder das Bette (*lit*) desselben, nämlich die Höhlung, welche diese Gewässer in der Erdoberfläche ausgewühlt haben und in welchen sie sich bewegen. 2tens. Der Querschnitt oder das Querprofil (*Section*) des Flusses, welches man erhält, wenn man sich eine Ebene senkrecht auf die Richtung seines Laufes denkt. 3tens. Das Gefälle (*pente*) eines Flusses, welches die Neigung desselben unterhalb dem Horizonte ist. 4tens. Das Längenprofil eines Flusses oder der Durchschnitt desselben seiner ganzen Länge nach.

§. 205.

Bei einem Flusse reicht es nicht hin, das Gefälle im Ganzen zu bestimmen z. B. zu sagen, er habe 20 Klafter Fall, sondern man muss jederzeit auch hinzufügen, auf

welche Länge dieses Gefälle Statt findet. Um in dieser Hinsicht eine gleichförmige Bezeichnung zu haben, ist man gegenwärtig übereingekommen, allgemein das Gefälle auf 100 Klafter (bei uns Nied. Oest. Klafter) Länge auszudrücken. So oft daher das Gefälle eines Flusses bestimmt ausgesprochen wird, denkt man sich hierzu eine Länge von 100 Nied. Oest. Klafter. Auf diese Weise hat die Moldau von der Oberfläche des Währes bei der Joachimsmühle nächst Rosenberg bis zur Einmündung der Malsch bei Budweis eine Länge von 38972 N. Oe. Klafter und ein Gefälle von 458 Fuss, demnach auf 100 Klafter ein mittleres Gefälle von 14,1 Zoll. Von Budweis bis zur Oberfläche des Schüttkauer Wehres in Prag beträgt die Länge 100799 Klafter und das ganze Gefälle 627⁵/₁₂ Fuss, demnach das mittlere Gefälle auf 100 Klafter 7,5 Zoll; von dem genannten Wehre in Prag bis zur Einmündung der Elbe bei Melnik ist die Länge 28746 Klafter und das Gefälle 101,5 Fuss, demnach das mittlere Gefälle 4,2 Zoll, endlich beträgt die Länge der Elbe von Melnik bis zur sächsischen Gränze 57644 Klafter, das ganze Gefälle 120 Fuss 6 Zoll, demnach das mittlere Gefälle 2,5 Zoll.

Das Gefälle der Ströme ist in der Regel und vorzüglich bei ihrer Ausmündung in das Meer am kleinsten, das Gefälle der Flüsse ist grösser und jenes der Bäche ist am bedeutendsten. Um das Gefälle eines Flusses zu bestimmen, hat man sonst die Senkung seines Bodens gemessen; weil jedoch der Boden eines jeden Flusses mehr oder minder Unebenheiten hat, und weil es nicht so sehr darauf ankommt, die Senkung des Grundbettes, als vielmehr die Senkung der Oberfläche des Wassers, oder des sogenannten **Wasserspiegels** zu bestimmen, so wird gegenwärtig allgemein, wenn es sich um die Bestimmung des Gefälles bei einem Flusse, Bache etc. handelt, bloss die Senkung oder Neigung des Wasserspiegels desselben gemessen. Wir wissen jedoch, dass sich auch der Wasserspiegel eines jeden fliessenden Gewässers nach seinem Wasserstande ändert, d. h. das Gefälle der Oberfläche eines Flusses ist bei grösserem oder kleinerem Wasserstande nicht dasselbe, indem es sich aus Ursachen ändert, welche wir später näher kennen lernen werden. Man ist desshalb übereingekommen, unter dem Gefälle eines jeden Stromes, Flusses etc. sein **Gefälle bei dem mittlern Wasserstande** zu verstehen. Zur Bestimmung des mittlern Wasserstandes bei einem Flusse schlägt man an gewissen Punkten in demselben Pfähle sehr fest ein, die mit einem eingetheilten Höhenmasse versehen werden; man nennt diese Pfähle **Pegel** oder **Wassermerkpfähle**. Da es aber bekannt ist, dass das Eis, vorzüglich wenn es schnell zu thauen anfängt, Pfähle aus ihrer Lage verrückt und in die Höhe hebt, so werden gegenwärtig die Skalen, nach welchen die Höhe des Wasserstandes gemessen wird, gewöhnlich an steinernen Brückenpfeilern oder an felsigten Ufern angebracht.

§. 206.

Man versteht unter der **Geschwindigkeit** eines Stromes, Flusses etc. denjenigen Raum, welchen das Wasser in dem Strome, Flusse etc. mit gleichförmiger Bewegung in einer Sekunde zurücklegt. Wird die Bewegung eines fliessenden Gewässers bloss in Hinsicht seiner Schwere und der schiefen Fläche, über welche es herablauft betrachtet, so folgt, dass die Geschwindigkeit desselben von seinem Ursprunge an, fortwährend zunehmen und bei der Einmündung in das Meer oder in einen grössern Fluss

am bedeutendsten seyn würde, weil daselbst die Höhe der schiefen Fläche von ihrem Ursprunge an am grössten ist; es müssten daher jene Flüsse, deren Fall von ihrem Ursprunge an gerechnet, sehr bedeutend ist, mit einer furchtbaren Geschwindigkeit in das Meer strömen. Um hiervon eine Idee zu erlangen, führen wir an, dass z. B. die Moldau von der Joachimsmühle oberhalb Budweis bis zur Mündung der Elbe bei Hamburg ein Gefälle von 270 Klafter hat. Wollte man hiernach die Geschwindigkeit berechnen, so ergibt sich für die Elbe bei Hamburg $c = 2\sqrt{15{,}5 \,.\, 270 \,.\, 6} = 317$ Fuss! — Diese ungeheuere Geschwindigkeit wäre nicht bloss von der Art, dass die Schiffahrt stromabwärts sehr gefährlich und stromaufwärts beinahe unmöglich wäre, sondern es würden auch die Ufer, sie möchten noch so fest seyn, angegriffen, und die grössten Verheerungen verursacht.

Die Erfahrung zeigt uns jedoch gerade das Gegentheil. Es haben nämlich alle Flüsse in der Nähe ihres Ursprunges die grösste Geschwindigkeit und dieselbe vermindert sich desto mehr, je weiter die Flüsse ihren Lauf fortsetzen. Bei den meisten Flüssen ist die Geschwindigkeit bei dem Ausflusse in das Meer so gering, dass in denselben die Ebbe und Fluth des Meeres bemerkbar wird. Das Wasser fällt nämlich zur Zeit der Ebbe und steigt während der Fluth von dem Meere aus in den Fluss zurück oder stromaufwärts, so dass das Flusswasser statt gegen das Meer zu fliessen von demselben stromaufwärts getrieben wird. Hieraus sehen wir offenbar, dass bei der Bewegung des Wassers in Flussbetten ähnliche Widerstände vorkommen müssen, welche wir bereits bei der Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen kennen gelernt haben.

§. 207.

Bevor wir zur näheren Betrachtung dieser Widerstände übergehen, wollen wir zuerst die Bewegung des Wassers, so wie sie ohne alle Widerstände bloss nach den Gesetzen der Schwere und der vollkommenen Flüssigkeit desselben Statt finden würde, betrachten. In dieser Absicht sey A′N′p′W′ das Grundbette eines Flusses. Die Geschwindigkeit des Wassertheilchens in A = c, der Weg, den dieses Wassertheilchen zurücklegt, sey ANpW, der Raum AN = s, die Geschwindigkeit in N = v, die horizontale Linie AM = x und die Tiefe MN = y. Fig. 1. Tab. 54.

Wir haben bereits bei der Bewegung über schiefe Flächen in der Mechanik fester Körper gezeigt, dass ein jeder Körper, wenn er aus dem Zustande der Ruhe über eine gerade oder gebogene schiefe Fläche herabläuft, in N eine Geschwindigkeit erlangt, welche der Fallhöhe MN zugehört; wenn er aber in A schon die Geschwindigkeit c hatte und die dieser Geschwindigkeit zugehörige Fallhöhe $\frac{c^2}{4g} = h$ gesetzt wird, so wird die Geschwindigkeitshöhe in N, nämlich $\frac{v^2}{4g} = h + MN = h + y$ seyn. Eben so wird die Geschwindigkeit im Punkte W durch die Gleichung $\frac{V^2}{4g} = \frac{c^2}{4g} + UW$ bestimmt. Daraus ergibt sich, dass die Geschwindigkeiten des Wassers auf gleichen Tiefen unter der horizontalen Linie einander gleich seyn müssen. Wenn nämlich MN = OP und die Geschwindigkeit in P = v′ gesetzt wird, so ist $\frac{(v')^2}{4g} = h + OP = h + MN = \frac{v^2}{4g}$, also $v' = v$. Hieraus folgt weiters, dass die Geschwindigkeit in p, wenn op kleiner als MN ist, auch kleiner seyn

Fig. 1. Tab. 54. müsse als in N, und eben so, wenn U W grösser als M N ist, so wird die Geschwindigkeit in W grösser als in N seyn, oder überhaupt die Geschwindigkeit des Wassers ist auf gleichen Höhen gleich, in höheren Gegenden kleiner und in niedrigern grösser, als auf der ursprünglichen horizontalen Linie.

§. 208.

Wenn wir annehmen, dass die Geschwindigkeit des Wassers in dem Querschnitte A A′ in allen Punkten seiner Höhe und Breite von gleicher Grösse = c ist, und wenn die Höhe dieses Querschnittes A A′ = a, die Breite = b und die Querschnittsfläche ein Rechteck ist, so ist die Wassermenge, welche in jeder Sekunde durch den Querschnitt A fliesst, offenbar dem Prisma a.b.c gleich. Wird auf gleiche Art in einem andern Querschnitte N N′ die Geschwindigkeit = v, die Höhe N N′ = u und die Breite = z gesetzt, so ist die durch diesen Querschnitt in einer Sekunde fliessende Wassermenge = u.z.v. Wenn nun zu diesem Flusse zwischen A und N weder etwas hinzukommt, noch etwas abgeht, folglich in jeder Sekunde dieselbe Wassermenge durch beide Querschnitte fliessen muss, so haben wir die Gleichung a . b . c = u . z . v und v : c = a . b : u . z oder die Geschwindigkeiten des Wassers verhalten sich umgekehrt wie die Querschnittsflächen des Flusses. Demnach würden die Querschnittsflächen desselben Flusses in hohen Gegenden, wo die Geschwindigkeiten kleiner sind, grösser, und in niedrigen Gegenden, wo die Geschwindigkeiten grösser sind, kleiner seyn müssen.

Diese Sätze werden aber bei unsern Flüssen von der Erfahrung nicht bestättigt. Alle Flüsse haben nämlich bei ihrem Ausflusse in das Meer die kleinste Geschwindigkeit, dagegen in höheren Gegenden auf den schiefen Flächen über die Gebirge herab viel grössere Geschwindigkeiten. Die Ursache hiervon liegt offenbar in den bereits erwähnten Widerständen, welche das Wasser bei seiner Bewegung in Flussbetten erfährt.

§. 209.

Wir haben bereits bei der Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen gezeigt, dass die Widerstände, welche das Wasser an den Röhrenwänden erfährt, theils der innern Fläche der Röhren, welche vom Wasser berührt wird, theils auch einer Funkzion der Geschwindigkeit proporzional sind. Bezeichnen wir die Druckhöhe der Röhrenleitung wie §. 129 mit h, die Querschnittsfläche der Röhre mit f, die Peripherie derselben mit p, und ihre Länge mit l, sonach die vom Wasser berührte Fläche mit p . l, endlich die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser durch die Röhre fliesst, mit v, so findet, wie in jenem §. gezeigt wurde, die Gleichung

$h = \frac{v^2}{4g} + \frac{p . l}{f}\left(A . \frac{v^2}{4g} + B . v\right)$ Statt. Da die Querschnitte der Röhre einander durchaus gleich sind, so muss auch die Geschwindigkeit des Wassers am Anfange und am Ende der Röhre gleich seyn.

Wir können offenbar einer jeden Röhre, in welche das Wasser aus einem Behälter fliesst, eine solche Neigung geben, dass ihr Gefälle y auf der Länge l oder dass

$\frac{y}{l}$ von den Widerständen gänzlich erschöpft wird, folglich die Geschwindigkeit v, welche das Wasser bei seinem Einfluss in die Röhre besitzt und bei seiner Bewegung durch die ganze Röhre behält, nur als eine Wirkung des Wasserstandes im Behälter vor der Röhre zu betrachten ist. Wir haben daher für die Bewegung des Wassers in die er Röhre die obige Gleichung $\frac{y}{l} = \frac{p}{f}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B \cdot v\right)$. Hierin ist $\frac{p}{f}$ das Verhältniss der Peripherie der Röhre zur Querschnittsfläche des Wassers und es hat offenbar die Gestalt dieser Peripherie hierbei keinen weitern Einfluss. Nehmen wir daher eine Röhre von der Form ABCD an, so können wir sie der Länge nach durch die Linie AC in zwei Theile oder zwei Hälften zerschneiden. Hierdurch wird sowohl die Querschnittsfläche, als auch die Peripherie in zwei Hälften getheilt; es bleibt jedoch das Verhältniss $\frac{p}{f}$ für jede Hälfte dasselbe wie für die ganze Röhre, da $\frac{\frac{1}{2}p}{\frac{1}{2}f} = \frac{p}{f}$ und wir erhalten daher für die untere Hälfte ADC der Röhre dieselbe Gleichung wie für die ganze Röhre. Fig. 2. Tab. 54.

Wird jetzt eine Flussstrecke angenommen, wo die Geschwindigkeit überall dieselbe ist, so kann diese Strecke als eine solche halbe Röhre ACD betrachtet werden und wir erhalten abermals die Gleichung $\frac{y}{l} = \frac{p}{f}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B \cdot v\right)$ oder $y = \frac{p \cdot l}{f}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B \cdot v\right)$. In diesem Ausdrucke ist $p \cdot l$ die Berührungsfläche des Wassers mit dem Grundbette, f das Querprofil des Flusses und die ganze Gleichung gibt das zur Uiberwältigung der Widerstände nothwendige Gefälle $\frac{y}{l}$ bei der gleichförmigen Geschwindigkeit v des Wassers an.

§. 210.

Bei der Bewegung des Wassers in Kanälen und Flussbetten können überhaupt 3 Fälle Statt finden:

I. Entweder betragen die Widerstände auf einer bestimmten Flusstrecke eben so viel, als das vorhandene Gefälle, in welchem Falle der Fluss eine gleichförmige Bewegung annimmt, d. h. das Wasser die einmal angenommene Geschwindigkeit beständig beibehält.

II. Die Widerstände können auf einer bestimmten Länge zu ihrer Uiberwältigung eine kleinere Höhe fordern, als das dieser Länge zugehörige Gefälle beträgt, in welchem Falle das Wasser mit beschleunigter Bewegung fortfliesst, endlich

III. können die Widerstände des Wassers mehr betragen, als das Gefälle auf derselben Länge, und dann ist die Bewegung verzögert, d. h. sie nimmt immerfort ab. Dieser Fall kommt bei allen Flüssen vor, indem dieselben wie wir bereits erinnerten, eine immer langsamere Bewegung annehmen und bei ihrer Ausmündung in einen Strom oder in das Meer die kleinste Geschwindigkeit besitzen.

Bei den Mühlenwerken und andern Maschinenanlagen, die durch die Kraft des Wassers betrieben werden, leitet man das letztere in eigenen Mühlkanälen, welche

gewöhnlich nur den Querschnitt von einigen Quadratfussen haben und von Holz oder Stein hergestellt oder auch in einem festen Erdreiche bloss ausgehoben werden. Da wir später bei der Theorie der Wirkung der Räder sehen werden, dass es am vortheilhaftesten sey, einem solchen Kanale nur das zur Fortbewegung des Wassers unumgänglich nothwendige Gefälle zu geben, für das Rad selbst aber den grössten Theil des vorhandenen Gefälles zu behalten, so werden Mühlkanäle bei einer zweckmässigen Anlage derselben immer nur so ausgeführt, dass das Wasser darin mit gleichförmiger Bewegung fliesst. Derselbe Fall findet bei Kanälen und jenen Flusstrecken Statt, innerhalb welcher das Wasser die angenommene Geschwindigkeit beibehält und auch in seinem ganzen Querschnitte, wie es bei einer Röhrenleitung der Fall ist, dieselbe Geschwindigkeit annimmt. Beide Fälle lassen sich mit der Bewegung des Wassers in einer Röhrenleitung genau vergleichen und wir können die aus einer grossen Anzahl Erfahrungen abgeleiteten Werthe $A = \frac{1}{180}$ und $B = \frac{1}{18000\sqrt{d}}$ auch hier benützen. Wir haben nämlich gesehen, dass diese Werthe bei Röhren von verschiedenen Materien nicht merklich verschieden sind und als gleich angenommen werden können. Demnach können dieselben Bestimmungen auch bei den regulären Mühlkanälen, sie mögen von Holz oder Stein erbaut seyn, und desgleichen bei jenen Flüssen Statt finden, die sich gleichförmig fortbewegen und deren Grundbette als eben betrachtet werden kann, oder worin sich keine grossen Steine oder Baumstöcke, welche heftige Wellen oder Schwälle verursachen oder ähnliche Hindernisse vorfinden. Wenn man aber, wie es häufig bei Bächen und auch bei Flüssen Statt findet, aus dem Geräusche des fliessenden Wassers deutlich erkennen kann, dass der Widerstand grösser als in Röhrenleitungen ist, so unterliegt dieser Fall keiner genauen Rechnung und man kann für denselben nur einen beiläufigen Anschlag machen.

Nehmen wir demnach einen Kanal oder eine Flusstrecke mit regulärem Grundbette, in welchem die Geschwindigkeit des Wassers durchaus gleich bleibt, demnach das ganze Gefälle von dem Widerstande, welchen das Wasser bei seiner Bewegung auf dem Grundbette findet, erschöpft wird, und setzen wir ferner, diese Kanalstrecke habe keine bedeutenden Brechungswinkel oder der Widerstand, welcher hieraus entsteht, könne vernachlässigt werden, so haben wir für diesen Fall die Gleichung $\frac{y}{l} = \frac{p}{f}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{18000\sqrt{d}}\right)$.

Hinsichtlich der Bestimmung des Durchmessers d ist zu bemerken, dass $\frac{1}{4}$ d bei kreisförmigen Röhren gefunden wird, wenn ihre Querschnittsfläche $f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ durch die Peripherie $p = \pi \cdot d$ dividirt wird. Bei Flüssen und auch bei Kanälen ist häufig die Breite derselben sehr gross, die Tiefe aber so unbedeutend, dass der Umfang p der Querschnittsfläche, der Breite b des Flusses gleich gesetzt werden kann. Bezeichnen wir nun noch die mittlere Tiefe des Wassers mit a und daher die Querschnittsfläche mit a . b, so ist $\frac{p}{f} = \frac{b}{a \cdot b} = \frac{1}{a}$ und $\frac{a \cdot b}{b} = a = \frac{d}{4}$, also $d = 4a$ und demnach der Koeffizient

$B = \frac{1}{18000\sqrt{4a}} = \frac{1}{36000\sqrt{a}}$. Führen wir inzwischen den letzten Werth in die aufge-

stellte Gleichung ein, so ist $\frac{y}{l} = \frac{p}{f}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{36000\sqrt{a}}\right)$ wo a nach §. 134 in Zollen zu setzen ist. Nebstbei erhalten wir noch eine zweite Gleichung für die in einer Sekunde abfliessende Wassermenge $M = f.v$. Diese zwei Ausdrücke finden für die gleichförmige Bewegung des Wassers in einem Mühlenkanale oder regulären Flussbette Statt und es lassen sich nunmehr mittelst derselben eine Menge hierher gehöriger Aufgaben auflösen.

§. 211.

Bevor wir diese Formel für praktische Fälle anwenden, wollen wir dieselbe noch mit einer vom Herrn *Eytelwein* angestellten genauen Beobachtung vergleichen. Derselbe führt nämlich in seinem Handbuche der Mechanik fester Körper und der Hydraulik, 2te Auflage, *Leipzig* 1823 Seite 164 an, dass er in dem mit starken Bretern rechtwinkelig ausgesetzten Mühlkanale bei *Bromberg*, dessen wir bereits §. 113 erwähnten, die Wassermenge in einer Sekunde $M = 2{,}327$ Rheinl. Kubikfuss gefunden habe, hierbei nahm die Oberfläche des Wassers bei ungehindertem Laufe und einer mittlern Tiefe von $5{,}5$ Zoll $= a$, ein Gefälle von $\frac{2}{3}$ Zoll $= y$ auf die Länge von 100 Fuss $= l$ an. Da überdiess die Breite des Gerinnes $b = 4$ Fuss betrug, so lässt sich die Geschwindigkeit v des Wassers und hiernach die Wassermenge in einer Sekunde berechnen. Weil 1 Rheinl. Fuss $= 0{,}993$ N. Oe. Fuss ist, so können diese Werthe ohne weitere Redukzion in die obigen Formeln substituirt werden, und wir erhalten $\frac{p}{f} = \left(\frac{5{,}5 + 48 + 5{,}5}{5{,}5 \,.\, 48}\right)12 = \frac{59}{22}$, demnach $\frac{2}{3 \cdot 12 \cdot 100} = \frac{59}{22}\left(\frac{v^2}{180 \cdot 62} + \frac{v}{36000\sqrt{5{,}5}}\right)$ oder $2{,}312 = v^2 + 0{,}132\, v$, woraus $v = 1{,}456$ und demnach $M = \frac{5{,}5}{12} \cdot 4 \cdot 1{,}456 = 2{,}669$ Kubikfuss folgt. Der geringe Unterschied, welcher zwischen der beobachteten Wassermenge von $2{,}327$ Kub. Fuss und dieser berechneten Wassermenge Statt findet, zeigt offenbar, dass unsere Formel für die oben angegebenen Fälle der gleichförmigen Bewegung des Wassers in Mühlkanälen und regulären Flussbetten hinlänglich genaue Resultate liefere.

§. 212.

Die Tiefe a bei grösseren Flüssen oder Kanälen beträgt in Zollen ausgedrückt gewöhnlich so viel, dass dadurch der zweite Theil des Widerstandes oder $\frac{v}{36000\sqrt{a}}$ in den meisten Fällen gegen den ersten Theil $\frac{v^2}{180 \,.\, 4g}$ ohne Bedenken vernachlässigt werden kann. Wir erhalten hiernach für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Kanälen oder regulären Flussbetten die abgekürzte Gleichung $\frac{y}{l} = \frac{p}{f} \cdot \frac{v^2}{180 \,.\, 4g} = \left(\frac{2a + b}{a \,.\, b}\right)\frac{v^2}{180 \,.\, 4g}$ (I), und $M = a \,.\, b \,.\, v$ (II). In diesen zwei Gleichungen kommen 6 Grössen, nämlich y, l, a, b, v und M vor; man kann daher 2 Grössen bestimmen, wenn die 4 übrigen bekannt sind.

Bevor wir jedoch zu einigen Beispielen hierüber übergehen, wollen wir noch den Fall betrachten, wenn das Wasser in einem Kanale oder Flusse durch ausserordentliche Zuflüsse bedeutend steigt. Hier tritt sodann eine Vermehrung der mittlern Geschwindigkeit ein.

Ist das Gefälle $\frac{y}{l}$ des Flusses bei kleinem und bei grossem Wasser dasselbe und ist die Höhe des niedrigen Wassers $= a$, des Hochwassers $= A$, die Breite b aber immer dieselbe, so wird die Peripherie oder der Umfang, welchen das Wasser bei niedrigem Stande einnimmt $= b + 2a$ und der Umfang desselben bei hohem Stande $= b + 2A$ seyn. Bezeichnet nun v und V die Geschwindigkeiten, welche in diesen 2 Fällen eintreten, so ist $\frac{y}{l} = \frac{(b+2a)\,v^2}{b \,.\, a \,.\, 180 \,.\, 4g} = \frac{(b+2A)\,V^2}{b \,.\, A \,.\, 180 \,.\, 4g}$. Nun kann man füglich $b + 2a = b + 2A$ setzen, weil bei Flüssen und Kanälen die Breite im Verhältniss der Höhe gewöhnlich sehr viel beträgt; wir erhalten demnach $\frac{v^2}{a} = \frac{V^2}{A}$ und $v : V = \sqrt{a} : \sqrt{A}$, oder **in Flüssen und Kanälen verhalten sich die mittlern Geschwindigkeiten bei verschiedenen Anschwellungen wie die Quadratwurzeln aus den mittlern Tiefen.** Ein seichteres Wasser fliesst daher immer langsamer als ein tieferes (bei demselben Gefälle), und wenn das Wasser in einem Flusse um das 4fache steigt, so wird die Geschwindigkeit doppelt; würde aber das Wasser in einem Flusse 9 mal so hoch steigen, so wird die Geschwindigkeit 3fach u. s. w. Dieses bestättigt aber auch vollkommen die Erfahrung, indem es bekannt ist, dass ein jeder Fluss bei hohem Wasserstande z. B. bei Eisgängen immer eine weit grössere Geschwindigkeit als bei niedrigem Wasserstande annimmt.

Die obige Gleichung $\frac{y}{l} = \frac{p}{f} \cdot \frac{v^2}{180 \,.\, 4g}$ oder $v = 2\sqrt{180\,g \cdot \frac{y}{l} \cdot \frac{f}{p}}$ zeigt uns ferner, dass ein Fluss, welcher auf dieselbe Länge ein 4faches Gefälle $\frac{y}{l}$ als ein anderer Fluss hat, auch eine doppelte Geschwindigkeit, bei einem 9fachen Gefälle eine 3fache Geschwindigkeit u. s. w. haben werde.

§. 213.

Setzen wir in den aufgestellten Gleichungen nach der obigen Bemerkung $\frac{p}{f} = \frac{1}{a}$, so ist $\frac{y}{l} = \frac{v^2}{180 \,.\, 4g \,.\, a}$ (I) und $M = a \,.\, b \,.\, v$ (II).

1stes Beispiel. Bei dem Donaukanale in *Wien*, welcher die Stadt von der Leopoldstadt trennt, ist ein Gefälle von 4 Zoll auf 100 Klafter vorhanden, demnach $\frac{y}{l} = \frac{4}{100 \,.\, 6 \,.\, 12} = \frac{1}{1800}$. Dieser Kanal ist im Mittel 36 Klafter breit und 4 Fuss tief. Demnach beträgt die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in demselben $v = 2\sqrt{180\,g \cdot a \cdot \frac{y}{l}} = 2\sqrt{180 \cdot 15{,}5 \cdot 4 \cdot \frac{1}{1800}} = 5$ Fuss, welches wirklich den vorgenommenen Messungen zu Folge bei der mittlern Tiefe von 4 Fuss der Fall ist. Als aber bei der grossen Ueberschwemmung am 1[ten] März 1830, das Wasser auf die 4fache Höhe stieg, vermehrte sich auch die Geschwindigkeit auf das doppelte und sie betrug 10 Fuss.

2tes Beispiel. Die Moldau hat zwischen Budweis und Prag die Länge $l =$ 100799 Klafter, der Fall auf diese Länge beträgt $y = 627\frac{5}{12}$ Fuss und die mittlere Tiefe des Flusses $a = 1{,}5$ Fuss. Hieraus ergibt sich die mittlere Geschwin-

digkeit $v = 2\sqrt{180 \cdot 15{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot \frac{627\frac{5}{12}}{6.100799}} = 4$ Fuss. Das Wasser vollendet demnach den Weg von 100799 Klaftern in $\frac{100799.6}{4}$ Sekunden oder in 42 Stunden. Wenn aber das Wasser z. B. bei Eisgängen auf die Höhe von 6 Fuss oder 4 Mal höher anschwellt, so ist die Geschwindigkeit $v = 8$ Fuss, und das Wasser wird seinen ganzen Lauf in der halben Zeit oder in 21 Stunden zurücklegen. Bei dieser Rechnung muss aber nothwendig bemerkt werden, dass man hierbei ein gleichförmiges Gefälle, welches bei der Moldau nicht Statt findet, annahm, dass man auch auf die vorhandenen Flusskrümmungen, dann die Wehren, welche die Geschwindigkeit vermindern und das Wasser zur Betreibung der Mühlgänge zuleiten, und auf andere solche Hindernisse keine Rücksicht nahm. Das Resultat der Rechnung ist daher hier nur als ein beiläufiger Anschlag anzusehen.

3tes Beispiel. Ein Mühlkanal soll eine Wassermenge von $M = 5$ Kub. Fuss in 1 Sekunde abführen; er ist 4 Fuss $= b$ breit und 1 Fuss $= a$ tief. Wie viel Gefälle muss man diesem Kanale auf die Länge von 500 Klafter $= 3000$ Fuss $= l$ geben, wenn er die bestimmte Wassermenge abführen soll.

Hier ist $5 = 1.4.v$ und daher $v = \frac{5}{4}$ Fuss. Wird diess in die Gleichung I. substituirt und für eine genaue Berechnung auch der zweite Theil des Widerstandes, welcher von der einfachen Geschwindigkeit abhängt, in Anschlag genommen, so ist $y = \left(\frac{2+4}{1.4}\right) 3000 \left(\frac{(\frac{5}{4})^2}{180.62} + \frac{\frac{5}{4}}{36000\sqrt{12}}\right)$ Fuss $= 7{,}6 + 0{,}5 = 8{,}1$ Zoll. Dieser Mühlkanal muss daher nothwendig ein Gefälle von $8{,}1$ Zoll in der Länge von 3000 Fuss erhalten, wenn er die angegebene Wassermenge gehörig abführen soll.

4tes Beispiel. Ein Fluss hat auf die Länge $l = 100$ Klafter das Gefälle $y = 6$ Zoll, die Breite desselben sey $b = 50$ Klafter und die verglichene Tiefe $a = 2$ Fuss. Man frägt, 1tens wie gross die Geschwindigkeit v des Wassers und wie gross die Wassermenge M sey, welche der Fluss in einer jeden Sekunde abführt. 2tens wie viel Mühlgerinne in diesem Flusse angelegt werden können, wenn die Breite eines Gerinnes $b' = 8$ Fuss ist und wenn der Schweller dieser Gerinne unterhalb des, im Flusse zu erbauenden Wehres $3{,}5$ Fuss $= h$ zu legen kommt.

Die Geschwindigkeit des Wassers im Flusse ergibt sich aus der Gleichung $v = 2\sqrt{180.15{,}5 \cdot 2 \cdot \frac{6}{100.72}} = 4{,}31$ Fuss. Hieraus folgt die Wassermenge in einer Sekunde $M = 2.300.4{,}31 = 2586$ Kub. Fuss. Um die Anzahl der Gerinne zu finden, muss man vorerst die Wassermenge berechnen, welche in einem Mühlgerinne fortfliesst; diese ist nach Seite 159 $= 0{,}633 . \frac{2}{3} . 8 . 3{,}5 . 2\sqrt{15{,}5 . 3{,}5} = 174{,}06$. Wenn daher die anzulegenden Mühlgerinne die ganze Wassermenge des Flusses aufnehmen und kein Wasser über das Wehr bei dem mittlern Wasserstande frei abfliessen soll, so erhält man die Anzahl der Gerinne $= \frac{2586}{174{,}06} = 15$.

5tes Beispiel. Es sey bei einer Serpentine die Länge des Flusses $l = 1000$ Klafter, das Gefälle für diese Länge $y = 2$ Fuss, folglich $\frac{y}{l} = \frac{1}{3000}$, die mittlere Tiefe des

Wassers $a = 4$ Fuss und die Biegungswinkel, welche sich in dieser Länge vorfinden $= 540$ Grad, so findet man die Geschwindigkeit des Wassers in der Serpentine nach der Gleichung $y = \frac{v^2 \cdot 1}{180 \cdot 4 g \cdot a} + \frac{v^2}{4 g} \cdot \frac{540}{1000} = \frac{v^2}{4 g}\left(\frac{6000}{180 \cdot 4} + 0{,}54\right)$. Hieraus ist $v = 3{,}74$ Fuss.

Wir wollen nun annehmen, dass mittelst eines geraden Durchstiches die Länge von 1000 Klaftern auf 200 Klafter reduzirt und die *Cunette* auf 1 Fuss Tiefe und 5 Klafter Breite ausgegraben wird, so ergibt sich für diesen Fall, wo keine Biegungen mehr bestehen, die Geschwindigkeit des Wassers in der *Cunette* aus der Gleichung $c = \sqrt{180 \cdot 62 \cdot 1 \cdot \frac{2}{1200}} = 4{,}31$ Fuss. Weil nun die Geschwindigkeit in der *Cunette* und im Flusse wenig verschieden ist, so wird bei diesem Durchstiche das Grundbette und die Ufer der *Cunette* nur wenig mehr als im Flusse angegriffen werden. Steigt aber das Wasser bei einem Eisgange im Flusse von 4 Fuss auf 12 Fuss Höhe, so wird das Wasser in der *Cunette* über dem Grundbette 9 Fuss hoch fliessen, demnach wird die Geschwindigkeit im Flusse $= 6{,}11$ Fuss und in der *Cunette* $= 12{,}94$ Fuss betragen. Es wird daher das Grundbette und die Ufer der *Cunette* viel mehr angegriffen werden, als es im Flussbette der Fall ist. Sind hier das Grundbette und Ufer der *Cunette* und des serpentirenden Flusses von gleicher Beschaffenheit, so wird das Bette durch die grössere Geschwindigkeit vom Wasser erweitert und vertieft werden, demnach die Geschwindigkeit wegen der Vertiefung noch mehr wachsen, und es wird sehr bald dahin kommen, dass das alte Flussbette vom Wasser verlassen und das gesammte Flusswasser in das neue Flussbette der *Cunette* geworfen, folglich der Zweck des Durchstiches ganz erreicht seyn wird.

§. 214.

Bei den bisherigen Rechnungen haben wir zur Bestimmung des Widerstandes in Flussbetten eine mittlere Geschwindigkeit und eine mittlere Tiefe des Flusses angenommen und in dieser Hinsicht das Querprofil desselben als ein Rechteck betrachtet. Obgleich sich diess bei grössern Flüssen, die ein sehr breites Flussbett besitzen, nicht wohl annehmen lässt, so kann man doch den Fluss der Länge nach in mehrere Theile oder Kanalstrecken zerlegt denken, und bei der bestehenden Beweglichkeit aller Wassertheile ohne Anstand annehmen, dass in jeder einzelnen solchen Abtheilung der Widerstand der Grundfläche, welche von derselben Abtheilung berührt wird, dem Quadrate der Geschwindigkeit proporzional sey, und dass sonach zur Uiberwindung dieses Widerstandes das nöthige Gefälle im geraden Verhältnisse des obigen Produktes und im umgekehrten der Querschnittsfläche stehen müsse. Mit Rücksicht auf diese Bemerkungen haben wir allgemein für jede zwischen zwei senkrechten Flächen eingeschlossene Querschnittsfläche oder für jeden solchen Kanal die Gleichung $c = \sqrt{180 \cdot 4 g \cdot \frac{f \cdot y}{p \cdot l}}$. In jeder Abtheilung ist aber $\frac{f}{p}$ immer $=$ der Tiefe a des Wassers, woraus die Geschwindigkeit $c = \sqrt{180 . 4 g . a \cdot \frac{y}{l}}$ folgt.

Hieraus sehen wir, dass an seichten Stellen des Flusses, wo a kleiner ist, auch die Geschwindigkeit kleiner seyn müsse als in den übrigen Abtheilungen, und dass sich überhaupt in jedem Flusse die grösste Geschwindigkeit über der grössten Tiefe befindet. Die Ursache, warum sich die Geschwindigkeit der Flüsse bei einem höhern Wasserstande vermehrt, wie es §. 212 durch Rechnung gezeigt wurde, lässt sich nunmehr auch leicht einsehen; es bleiben nämlich in jeder kanalförmigen Abtheilung des Flusses die Peripherien immer dieselben, wogegen die Querschnittsflächen bei grossem Wasser viel mehr als bei kleinem betragen, demnach auch die Geschwindigkeit des Wassers grösser als bei einem niedrigen Stande desselben seyn muss.

§. 215.

Bei jedem Mühlkanale ist das ganze Gefälle vom Einflusse des Wassers in den Kanal bis zu dessen Abflusse unter dem Mühlwerke gegeben. Von dieser Fallhöhe muss nun ein Theil für den Mühlkanal und der zweite Theil für das Wasserrad verwendet werden. Die Wirksamkeit der Wasserräder ist aber um so grösser, jemehr Wasser denselben zugeführt wird und je grösser die Fallhöhe für das Rad ist. Die Wassermenge, welche auf das Rad geleitet wird, müssen wir aus dem Grunde als gegeben betrachten, weil dieselbe von jener bestimmt wird, die der Bach oder Fluss, woran man die Mühle legt, abführt; die Wassermenge für das Rad kann daher höchstens jener des Baches oder Flusses gleichkommen. Zur Erzielung einer grossen Wirksamkeit eines Wasserrades wird daher erfordert, dem Gefälle dieses Rades einen möglichst grossen und dagegen dem Gefälle des Mühlkanals einen möglichst kleinen Theil von der gegebenen Fallhöhe zuzuwenden. Es leuchtet aber von selbst ein, dass der letztere Theil nicht ganz verschwinden oder $= 0$ seyn könne, weil in diesem Falle die Geschwindigkeit des Wassers im Mühlkanale auch $= 0$ seyn würde, folglich gar kein Wasser zur Mühle zufliessen könnte.

Setzen wir die Geschwindigkeit des Wassers im Mühlgraben $= v$, und das Querprofil desselben $= f$, so ist der Wasserzufluss $M = f.v$. Weil dieser durch die Wassermenge, welche der Bach oder Fluss abführt, gegeben ist, so wollen wir nicht nur die Geschwindigkeit v des Wassers in diesem Kanale, welche nicht $= 0$ seyn kann, sondern auch die Wassermenge einstweilen als gegeben betrachten. In diesem Falle ist nun auch f gegeben, weil $f = \frac{M}{v}$ ist. Demnach wird es bei der Bemessung des Gefälles $\frac{h}{l} = \frac{p}{180 f}\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{v}{100\sqrt{a}}\right)$ hauptsächlich auf die Bestimmung der Grösse p ankommen. Das nothwendige Gefälle $\frac{h}{l}$ eines Mühlkanales wird nämlich ein Minimum, wenn die Grösse p sehr klein, demnach die Peripherie oder der Umfang des Kanales, welcher die gegebene Fläche f einschliesst, möglichst klein ist. Dieser Eigenschaft kommt unter allen Figuren der ganze und der halbe Kreis und auch jeder Abschnitt des Kreises am nächsten, wenn im letzten Falle die beiderseitigen Böschungswinkel, oder die Winkel, welche die Oberfläche des Wassers mit dem abgeschnittenen Kreisbogen macht, gegeben sind. Allein es ist sehr schwierig einen

Kanal, wenn er auch gemauert oder ausgedielt ist, nach dem Profil eines halben Kreises in der Prax auszuführen; wenn aber derselbe bloss ausgegraben wird, so erhalten sich die zwei Seitenwände nicht, weil sie bei einem halben Kreise an ihrem obern Theile senkrecht stehen und daher durch den Druck des Erdreichs einstürzen.

Aus dieser Ursache bedient man sich in der Ausübung gewöhnlich rechtwinkeliger oder trapezförmiger Figuren, wovon die erstern mit Holz oder Stein ausgelegt, die letztern aber gewöhnlich im blossen Erdreiche ausgehoben werden. Wir wollen zuerst annehmen, die Querschnittsfläche des Mühlkanals sey ein Rechteck, die Höhe des Wassers in diesem Kanale $= y$ und die Breite des Kanals $= x$, so ist die Querschnittsfläche $f = x \cdot y$ und die vom Wasser berührte Peripherie $p = 2y + x$. Weil aber $x = \frac{f}{y}$ ist, so ist auch $p = 2y + \frac{f}{y}$, welches zu einem Minimum gemacht werden muss. (Fig. 3. Tab. 54.) Dieses findet Statt, wenn $y = \sqrt{\frac{f}{2}}$ gesetzt wird *). In diesem Falle ist aber $x = \frac{f}{y} = \sqrt{2f}$, demnach das Verhältniss $y : x = \sqrt{\frac{f}{2}} : \sqrt{2f} = 1 : 2$, also muss in jedem Falle die Breite des rechtwinkeligen Kanals doppelt so gross als die Höhe, oder die Höhe der halben Breite gleich seyn. Wird demnach ein Mühlkanal mit Pfosten ausgedielt oder von Stein ausgemauert, so ist die Gestalt eines halben Quadrates die vortheilhafteste.

§. 216.

Längere Mühlkanäle werden gewöhnlich nur in den Erdboden eingegraben und können desshalb nicht mit rechtwinkeligen Seitenwänden versehen werden, weil auch eine sehr feste Erde oder Schotter vom Wasser erweicht oder unterwaschen, demnach der Kanal sehr bald einstürzen würde. Um dieses zu vermeiden, wird den Mühlkanälen ein trapezförmiges, nach oben erweitertes Profil, und der schiefen Richtung der Seitenwände nach Massgabe des mehr oder weniger bindenden Materials und der kleinern oder grössern Geschwindigkeit des Wassers eine steilere oder flächere Böschung gegeben. Um nun auch für diesen Fall das vortheilhafteste Verhältniss $\frac{p}{f}$ zu finden, wollen wir den Böschungswinkel $b\,d\,n = a\,c\,m = w$, welcher von dem vorhandenen Materiale abhängt, als gegeben betrachten, und die Seite $a\,c = b\,d = y$ und die untere $c\,d = x$ setzen. (Fig. 4.) Wir haben demnach die Höhe des Trapezes $b\,n = y \,.\, \text{Sin}\, w$ und die Böschungsanlage $m\,c = d\,n = y \,.\, \text{Cos}\, w$, folglich die obere Parallele $a\,b = x + 2\,y \,.\, \text{Cos}\, w$. Diess gibt nunmehr die Fläche des Trapezes $f = (c\,d + a\,b)\,\frac{b\,n}{2} = (x + y \,.\, \text{Cos}\, w)\; y \,.\, \text{Sin}\, w$ und die vom Wasser berührte Peripherie $p = a\,c + c\,d + d\,b = x + 2y$. Die unter dem Texte angeführte Rechnung **) zeigt, dass p ein Minimum wird, wenn

*) Das Differenziale der Gleichung $2y + \frac{f}{y}$ ist $2\,dy - \frac{f\,.\,dy}{y^2}$; wird nun dieses $= 0$ gesetzt, so findet man $y = \sqrt{\frac{f}{2}}$.

**) Die Bedingniss, dass diese Peripherie ein Minimum seyn muss, gibt die Gleichung $dx + 2\,dy = 0$, und weil die Fläche f als gegeben betrachtet wird, so ist ihr Differenziale $(y\,.\,dx + x\,.\,dy + 2\,y\,.\,dy\,.\,\text{Cos}\, w)\; \text{Sin}\, w = 0$. Setzen wir in diese Gleichung den Werth dx aus

$y = \frac{\sqrt{f}}{\sqrt{(2 - \text{Cos}\,w)\,\text{Sin}\,w}}$ und $c\,d = x = \frac{2(1 - \text{Cos}\,w)\sqrt{f}}{\sqrt{(2 - \text{Cos}\,w)\,\text{Sin}\,w}}$ gesetzt werden. Daraus folgt die obere Breite $a\,b = 2\sqrt{\frac{f}{(2 - \text{Cos}\,w)\,\text{Sin}\,w}}$ und die Höhe des Trapezes $b\,n = \sqrt{\frac{\text{Sin}\,w\,.\,f}{2 - \text{Cos}\,w}}$ und die Peripherie $p = 2\sqrt{\frac{(2 - \text{Cos}\,w)\,f}{\text{Sin}\,w}}$ und mithin $\frac{p}{f} = 2\sqrt{\frac{2 - \text{Cos}\,w}{f\,.\,\text{Sin}\,w}}$.

Da der Winkel w nie grösser als 45 Grad werden kann, weil das aufgeschüttete Erdreich bei 45 Grad gewöhnlich von selbst abzulaufen pflegt, und dieses bei nassem Erdreiche um so mehr Statt finden muss, so haben wir in der folgenden Tabelle zur deutlichen Uibersicht dieses Gegenstandes die Abmessungen des Profiles für die Querschnittsfläche f und die Winkel von 45°, 40°, 36° 52′, 35° und 30 nach den aufgestellten Gleichungen berechnet. Dieser Tabelle haben wir noch das Verhältniss $\frac{p}{f}$ für einen halben Kreis und das halbe Quadrat beigesetzt. Bei dem halben Kreise ist nämlich $f = \frac{\pi\,.\,r^2}{2}$, also $r = \sqrt{\frac{2\,f}{\pi}}$ und die Peripherie $p = r\,.\,\pi = \pi\sqrt{\frac{2\,f}{\pi}}$, demnach $\frac{p}{f} = \frac{\pi}{f}\sqrt{\frac{2\,f}{\pi}} = \frac{1}{\sqrt{f}}\sqrt{2\,.\,3{,}14159265} = \frac{2{,}507}{\sqrt{f}}$. Bei dem halben Quadrate haben wir aber $f = \frac{a^2}{2}$, also $a = \sqrt{2\,f}$, und die Peripherie $p = \frac{a}{2} + a + \frac{a}{2} = 2\,a = 2\sqrt{2\,f}$, demnach $\frac{p}{f} = \frac{2\sqrt{2\,f}}{f} = \frac{2{,}828}{\sqrt{f}}$.

Böschungswinkel w.	Dimensionen des Profiles			Verhältniss $\frac{p}{f}$
	obere Breite a b.	untere Breite c d.	Tiefe b n.	
45 Grad	$2{,}092\sqrt{f}$	$0{,}613\sqrt{f}$	$0{,}740\sqrt{f}$	$\frac{2{,}704}{\sqrt{f}}$
40 „	$2{,}246\sqrt{f}$	$0{,}525\sqrt{f}$	$0{,}722\sqrt{f}$	$\frac{2{,}771}{\sqrt{f}}$
36° 52 Min.	$2{,}357\sqrt{f}$	$0{,}471\sqrt{f}$	$0{,}707\sqrt{f}$	$\frac{2{,}828}{\sqrt{f}}$
35 Grad	$2{,}430\sqrt{f}$	$0{,}439\sqrt{f}$	$0{,}697\sqrt{f}$	$\frac{2{,}870}{\sqrt{f}}$
30 „	$2{,}656\sqrt{f}$	$0{,}356\sqrt{f}$	$0{,}664\sqrt{f}$	$\frac{3{,}012}{\sqrt{f}}$
halber Kreis	$1{,}596\sqrt{f}$	0,000	$0{,}798\sqrt{f}$	$\frac{2{,}507}{\sqrt{f}}$
halbes Quadrat	$1{,}414\sqrt{f}$	$1{,}414\sqrt{f}$	$0{,}707\sqrt{f}$	$\frac{2{,}828}{\sqrt{f}}$

der ersten, so ist $-2\,y\,.\,d\,y + x\,.\,d\,y + 2\,y\,.\,d\,y\,.\,\text{Cos}\,w = 0$, woraus $x = 2\,y\,(1 - \text{Cos}\,w)$ folgt. Wird dieser Werth in die Gleichung für die Querschnittsfläche gesetzt, so ist $f = y^2.\,(2 - \text{Cos}\,w)\,\text{Sin}\,w$, demnach $y = \frac{\sqrt{f}}{\sqrt{(2 - \text{Cos}\,w)\,\text{Sin}\,w}}$ und $x = \frac{2\,(1 - \text{Cos}\,w)\,\sqrt{f}}{\sqrt{(2 - \text{Cos}\,w)\,\text{Sin}\,w}}$.

Aus dieser Tabelle ersehen wir:

1tens. Dass bei dem halben Kreise das Verhältniss $\frac{p}{f}$ unter allen übrigen Figuren wirklich das kleinste ist.

2tens. Bei dem halben Quadrate ist dieses Verhältniss bereits grösser als bei dem halben Kreise und zwar verhält sich der Werth von $\frac{p}{f}$ in diesen zwei Fällen $= 2507 : 2828 = 1 : 1 + \frac{1}{8}$.

3tens. Der Winkel $w = 45^0$ ist vortheilhafter als das halbe Quadrat, der Winkel von $36^0\ 52^{Min.}$ kommt dem halben Quadrate gleich und bei den kleinern Winkeln ist das Verhältniss von $\frac{p}{f}$ wieder grösser. Wir sehen hieraus, dass die steilere Böschung des trapezförmigen Kanales (bei gegebener Fläche f) dem Zwecke, ein kleines Gefälle zu benöthigen, mehr entspricht, als die flächere Stellung der Seitenwände. In der Ausübung kann man bei Mühlkanälen in den meisten Fällen einen Winkel von 45° annehmen, weil man das Abspühlen des Erdreiches theils durch Verminderung der Geschwindigkeit, theils durch Bedeckung der Böschungen mit einem mehr bindenden Materiale, welches zur Verhütung der Durchseigerung ohnehin nothwendig ist, beseitigen kann.

§. 217.

Herr *Eytelwein* führt in seinem Handbuche der Mechanik fester Körper und der Hydraulik, 2te Auflage, Leipzig 1823, Seite 165 an, dass unter den trapezförmigen Profilen die Seitendossirung (Böschung) eines Sechseckes, welches zwar den kleinsten Umfang habe, zu steil sey, weil sie 60 Grad betrage, demnach dasselbe in der Ausübung nicht leicht angewendet werden könne. Man erhalte aber ein trapezförmiges Profil, welches hinlängliche Dossirung und dabei einen kleinen Umfang habe, wenn man die Breite A D eines rechtwinkeligen Profiles A B C D in 6 Theile theilt und davon 2 Theile von A nach a und von D nach d, dann ebenso 2 Theile von B nach b und von C nach c aufträgt und nun die Punkte a, b, c und d mitsammen verbindet. Bezeichnen wir einen solchen Theil mit e, so ist $a\,b = \sqrt{a\,n^2 + n\,b^2} = \sqrt{(3\,e)^2 + (4\,e)^2} = 5\,e$, und daher der Umfang der erhaltenen trapezförmigen Figur $a\,b + b\,c + c\,d = 5\,e + 2\,e + 5\,e = 12\,e$, demnach eben so gross als der Umfang des halben Quadrates $A\,B + B\,C + C\,D = 3\,e + 6\,e + 3\,e = 12\,e$. Auf gleiche Art ist der Flächeninhalt des trapezförmigen Profiles $= (a\,d + b\,c)\frac{a\,n}{2} = (10\,e + 2\,e)\frac{3\,e}{2} = 18\,e^2$ und der Flächeninhalt des halben Quadrates $= A\,B \,.\, B\,C = 3\,e \,.\, 6\,e = 18\,e^2$. Das konstruirte trapezförmige Profil hat daher einen gleichen Umfang und gleichen Flächeninhalt, wie das halbe Quadrat, überdiess aber den Böschungswinkel a b n, dessen Sinus $= \frac{a\,n}{a\,b} = \frac{3}{5} = \text{Sin}\, 36^0\ 52^{Min.}$ ist. Für diesen Winkel wurden daher in der obigen Tabelle die zu seiner Konstrukzion erforderlichen Werthe ebenfalls berechnet. Da hier $p = 12\,e$ und $f = 18\,e^2$ ist, so gibt für diesen Fall die Substituzion in unsere aufgestellten Gleichungen

Fig. 5. Tab. 54.

$\frac{h}{l} = \frac{12\,e}{18\,e^2} \cdot \frac{v^2}{180\,.\,4\,g} = \frac{2}{3\,e} \cdot \frac{v^2}{180\,.\,4\,g}$ (I), wozu dann noch die zweite Gleichung

$M = 18e^2 . c$ (II) hinzukommt. Wenn daher von den fünf Grössen h, l, M, v und e drei gegeben sind, kann man die übrigen zwei berechnen.

§. 218.

Unsere Mühlkanäle werden gewöhnlich zu dem Zwecke gegraben, um das Wasser von einem Flusse oder Bache einer Mühle zuzuführen. Man baut nämlich in dem Flusse oder Bache ein Wehr, welches das Wasser fängt und es in einen seitwärts angelegten Mühlkanal leitet. Ist die Wassermenge sehr gross, wie es z. B. bei der Moldau in Prag der Fall ist, so sind die Kanäle nur von kurzer Länge, allein wenn die Wassermenge, wie bei unsern meisten Bächen unbedeutend ist, so muss das Gefälle dasjenige in der Kraft des Rades ersetzen, was von der Wassermenge abgeht. Man leitet daher bei Bächen das Wasser von dem Wehr in einen Kanal, der gewöhnlich in dem Erdreiche bloss ausgegraben und an der Berglehne des Thales, in welchem der Bach fliesst, so weit fortgeführt wird, bis man ein hinreichendes Gefälle hat, um dort ein Wasserrad anzubringen. Fig. 6 enthält die perspektivische Darstellung einer solchen Anlage; hierbei Fig.
ist A das Wehr, B C der an der Berglehne fortgeführte Mühlkanal, D das oberschläch- 6.
tige Wasserrad, wodurch das Gehwerk der Mühle in Bewegung gesetzt wird und E F Tab. 54.
der im Thale fortlaufende Bach, in welchen das Wasser von dem Rade wieder abfällt und seinen Lauf weiter fortsetzt.

Wir haben bereits angeführt, dass ein jeder solche Mühlkanal etwas Gefälle haben muss, damit das Wasser mit der gehörigen Geschwindigkeit darin fliessen kann. Das richtige Verhältniss für das Gefälle und die Dimensionen des Kanales wird man in jedem praktischen Falle nach Anleitung der bisherigen Rechnungen ausmitteln.

Beispiel. Es sey in dem vorgenannten Falle der Mühlgraben für eine oberschlächtige Mahlmühle anzugeben; die Wassermenge, welche durch den Mühlgraben geleitet werden soll, sey $M = 9$ Kubikfuss, die Länge des Mühlgrabens $l = 600$ Klafter $= 3600$ Fuss und der Böschungswinkel $= 30$ Grad.

Setzen wir vorläufig die Geschwindigkeit $v = 1$ Fuss, so ist die Querschnittsfläche des Mühlgrabens $f = 9$ Quadratfuss, folglich $\sqrt{f} = 3$ und daher das Gefälle, welches dieser Mühlkanal für seine ganze Länge erhalten muss.

$h = \frac{3{,}012 \cdot 3600 \cdot 1}{180 . 3 . 62} = 0{,}324$ Fuss $= 4$ Zoll. Wenn also die Fallhöhe von der Oberfläche beim Einflusse des Wassers aus dem Bache in den Mühlgraben, oder vom Wehrschweller, mittelst welchem das Wasser in den Mühlgraben eingefangen wird, bis zur Oberfläche des abfliessenden Wassers unter dem Rade 12 Fuss beträgt, so wird zur Verwendung für den Mühlenbetrieb ein Gefälle von 11 Fuss 8 Zoll erübrigen. Man würde dieses Gefälle noch kleiner erhalten haben, wenn man für die Geschwindigkeit v eine kleinere Grösse z. B. $\frac{1}{2}$ Fuss angenommen hätte. In diesem Falle wäre aber die Querschnittsfläche $f = \frac{M}{v} = 2 . 9 = 18$ Quadratfuss, demnach auch alle Abmessungen des Kanals und sonach die Arbeit des Ausgrabens auf das doppelte vermehrt, wovon die Kosten durch das für die Mühle gewonnene unbedeutend grössere Gefälle nicht ersetzt werden.

Die Abmessungen für den Mühlkanal werden in dem zuerst angenommenen Falle bei einer Böschung von 45 Grad nach Seite 293 folgende seyn:

Die obere Breite $2{,}092 \sqrt{f} = 6{,}276$ Fuss, die untere Breite $0{,}613 \sqrt{f} = 1{,}839$ Fuss und die Tiefe $0{,}740 \sqrt{f} = 2{,}220$ Fuss.

Soll jedoch das trapezförmige Profil nach der Beschaffenheit des Erdreichs bloss mit einer Böschung von 36^0 $52^{Min.}$ angelegt werden, so ist nach Seite 294 die Querschnittsfläche desselben $= 18 e^2 = 9$, also $e = 0{,}707$ Fuss, demnach die obere Breite $10 e = 7{,}07$ Fuss, die untere Breite $2 e = 1{,}41$ Fuss und die Tiefe $3 e = 2{,}12$ Fuss.

Wollte man aber die Geschwindigkeit des Wassers im Mühlkanale mit $v = 2$ Fuss annehmen, so ist das auszuhebende Profil $f = 4{,}5$ Quadratfuss, demnach der kubische Inhalt der Erdarbeit nur halb so gross. Jetzt wird aber der Fall, welchen dieser Kanal erfordert, bei einer Böschung von 45 Grad, $h = \frac{2{,}704}{\sqrt{4{,}5}} \cdot \frac{4 . 3600}{180 . 62} = 1{,}65$ Fuss betragen, demnach zur Anlegung des Wasserrades nur die Fallhöhe von $10{,}35$ F. übrig bleiben.

§. 219.

Bei der Berechnung der Anlage der Mühlkanäle nach den aufgestellten Formeln sind noch folgende wesentliche Umstände zu berücksichtigen:

1tens, ob das Erdreich, worin der Kanal ausgegraben wird, von der Beschaffenheit ist, dass man zur Ersparung der Arbeit der Erdaushebung eine grössere Geschwindigkeit annehmen kann. Ist das Erdreich sehr leicht oder hat wenig Konsistenz, so würde es bei einer grössern Geschwindigkeit angegriffen, und die Ufer durchgerissen werden.

2tens. In dem letzten Falle ist zu untersuchen, ob das zur Erzielung einer grössern Geschwindigkeit des Wassers im Mühlkanale verwendete, demnach für das Wasserrad verlorene Gefälle nicht etwa für den Betrieb der Mühle einen grössern Schaden bringe, als die Verminderung der Anlags- und Unterhaltungskosten des Mühlkanales beträgt.

3tens. So vortheilhaft es übrigens ist, dem Wasser im Mühlkanal eine kleinere Geschwindigkeit zu geben, so ist doch im Gegentheile zu berücksichtigen, dass die Verschlämmung eines solchen Mühlkanals, welche aus dem eingelassenen trüben Wasser entsteht, um so grösser sey, je langsamer das Wasser darin fliesst, in welchem Falle dann auch die Räumungskosten zur nöthigen Unterhaltung des Mühlkanals sich vermehren.

4tens. Bei kleinen Kanälen, in welchen das Wasser langsam fliesst, ist auch noch zu berücksichtigen, dass sie in kalten Klimaten zur Winterszeit gänzlich ausfrieren, was aber bei einem **tiefer** und **schneller** fliessenden Wasser nicht eintritt. In dieser Hinsicht werden solche Kanäle im Winter zugedeckt, um vorzüglich das Einfallen des Schnees und das Ansetzen des Treibeises zu verhindern. Auch wird das Wasser in solchen Mühlkanälen zu Anfang des Frostes durch Einschützen eine Zeitlang höher gehalten, damit das Treibeis in die Höhe steigen und das Wasser an der Oberfläche einfrieren, für das darunter fliessende Wasser aber ein hinreichendes Profil übrig bleiben möge.

5tens. Uiberhaupt ist es für die Ausübung zweckmässig, durch vorläufige Versuche zu bestimmen, bei welcher Geschwindigkeit des Wassers das vorhandene Erdreich angegriffen werde. Die Geschwindigkeit des Wassers darf in keinem Falle grösser genommen werden, als jene, wobei das Erdreich noch liegen bleibt, denn würde man dem Kanale willkührlich ein grösseres Gefälle geben, so könnte es leicht geschehen, dass die Ufer angegriffen und der Kanal durchgerissen würde. Hier bleibt dann nichts übrig, als einen solchen Kanal höher oder niedriger an der Berglehne zu führen und mit dem angemessenen Gefälle neu auszuheben. Die erste Kanalgrabungsarbeit ist daher ganz verloren.

Hieraus werden die Umstände hinreichend zu ermessen seyn, welche bei der Anlage solcher Kanäle zu berücksichtigen sind.

§. 220.

Die Mühlkanäle, in welchen das Wasser aus grösseren Flüssen zu den Mühlen geleitet wird, sind gewöhnlich sehr kurz und bedürfen desshalb keiner Berechnung ihres nothwendigen Gefälles. Inzwischen gibt es doch Fälle, wo die Mühlen z. B. am Ende eines Flussarmes zwischen einer Insel und dem festen Lande angelegt werden, folglich der Mühlkanal eine bedeutendere Länge erhält. Hier fragt es sich nun, wie hoch der Fluss am Ende des Armes geschwellt, oder auf welche Höhe die Grundschwelle eingelegt werden könne. Weil hier sowohl die Tiefe des Wassers bei dem Einflusse, als auch die Breite desselben gegeben ist, so wird die Querschnittsfläche und auch eine Geschwindigkeit des Wassers angenommen und das hierzu nöthige Gefälle berechnet. Dieses geht itzt dem natürlichen Gefälle des Flussarmes und folglich der Mühle ab. Da man hier bei der Annahme einer kleinern Geschwindigkeit zwar mehr Gefälle zur Betreibung der Mühle übrig behält, allein dagegen die zufliessende Wassermenge geringer wird, so ist aus der Vergleichung dieser Umstände zu ermessen, welche Geschwindigkeit man annehmen könne, und welches Gefälle demnach für die Anlage der Mühle übrig bleibt. Hieraus ist sodann der Effekt der Mühle und die Frage, in welchem Grade sie dem Zwecke entsprechen werde, zu beurtheilen.

Gewöhnlich pflegt man die kleinen Flussarme, welche zwischen einer Insel und dem festen Lande fortlaufen, vorzüglich, wenn sie hinlängliche Tiefe und ein bedeutendes Gefälle besitzen, zur Betreibung von Mühlwerken zu verwenden. Es sey in diesem Falle die ganze Länge des Flussarmes, an dessen Ende die Mühle angelegt werden soll $AB = l$, und das ganze Gefälle des Wassers auf diese Länge oder $BC = h$. Fig. 7. Tab. 54.
Die Oberfläche des Hauptschwellers des Mühlgerinnes wird gewöhnlich in die Oberfläche C des abfliessenden Wassers gelegt und durch diesen Einbau CE das Wasser über dem Mühlschweller bis N erhoben, von wo es mit dem Gefälle NC gegen das Rad fliesst.

Es ist offenbar, dass wenn die Oberfläche AN des Wassers mit AB zusammenfiele oder horizontal wäre, das Wasser im Mühlkanale stehen, folglich kein Zufluss zu der Mühle Statt finden würde. Demnach muss $BN = y$ einen bestimmten Werth erhalten, welcher das zur Bewegung des Wassers von A bis B erforderliche Gefälle $\frac{y}{l}$ ausdrückt und es bleibt für das Wasserrad bloss das wirksame Gefälle $NC = h - y$ übrig. Es fragt

Fig. 7. Tab. 54. sich nun, wie gross y angenommen werden solle, damit die Arbeit, welche von dem Rade zu Stande gebracht wird, ein Maximum sey. Nimmt man y gross, so wird das Wasser zwar geschwinder fliessen, allein h — y kleiner werden und im Gegentheile.

Weil wir diese Rechnung bloss auf eine elementare Art machen wollen, so ist, wenn a die Tiefe A b des Wassers vor dem Einbaue bezeichnet, die mittlere Tiefe des Wassers $= \frac{Ab + NE}{2} = \frac{a + a + h - y}{2} = a + \frac{h - y}{2}$. Die mittlere Geschwindigkeit v, womit das Wasser in dem Kanale herabfliessen wird, ergibt sich aus der Gleichung $\frac{y}{l} = \frac{1}{180\left(a + \frac{h-y}{2}\right)} \cdot \frac{v^2}{4g}$, woraus $v = 2\sqrt{g \cdot \frac{y}{l} \cdot 180\left(a + \frac{h-y}{2}\right)}$ folgt. Bezeichnet B die ganze Breite des Flussarmes, so ist die Wassermenge, welche durch denselben herabfliesst und zur Betreibung der Räder verwendet werden kann $= B\left(a + \frac{h-y}{2}\right) 2\sqrt{g \cdot \frac{y}{l} \cdot 180\left(a + \frac{h-y}{2}\right)}$. Wir werden in der Folge sehen, dass bei allen Mühlwerken das mechanische Moment oder die zu bewirkende Arbeit eines unterschlächtigen Wasserrades dem Produkte der Wassermenge in das Gefälle proporzional sey; soll daher die Arbeit ein Maximum seyn, so muss auch die obige Wassermenge, multiplizirt mit dem Gefälle h — y möglichst gross werden. Wenn wir die beständigen Grössen weglassen, so muss das Produkt $\left(a + \frac{h-y}{2}\right)\sqrt{y\left(a + \frac{h-y}{2}\right)} \cdot (h - y)$ zu einem Maximum werden. Nach der unten beigefügten höhern Rechnung *) findet diess Statt, wenn $y = \frac{h}{3}\left(\frac{3a - h}{3a + h}\right)$ ist.

*) Wird die obige Grösse auf das Quadrat erhoben, so erhalten wir $y\left(a + \frac{h-y}{2}\right)^3 \cdot (h-y)^2$, welches zu einem Maximum werden muss. Diess geschieht am leichtesten, wenn wir die Logarithmen dieses Produktes nehmen, wornach $\log y + 3 \log\left(a + \frac{h-y}{2}\right) + 2\log(h - y)$ ein Maximum seyn muss. Diess gibt $\frac{1}{y} - \frac{3}{a + \frac{h-y}{2}} - \frac{2}{h-y} = 0$. Wird diese Gleichung durch aus mit $y\,(h - y)$ multiplizirt, so ist

$h - y - \frac{3y(h-y)}{a + \frac{h-y}{2}} - 2y = 0$ und $y = \frac{h}{3} - \frac{2y(h-y)}{2a + h - y}$. Hieraus sehen wir, dass y kleiner als $\frac{h}{3}$ seyn muss, wir können daher $y = \frac{h}{3}(1 - u)$ setzen, wo u eine kleine Bruchzahl ist.

Diess gibt substituirt $\frac{h}{3} - \frac{h.u}{3} = \frac{h}{3} - \frac{\frac{2h}{3}(1-u)\left(h - \frac{h}{3} + \frac{h.u}{3}\right)}{2a + h - \frac{h}{3} + \frac{h.u}{3}}$, woraus

$u = \frac{2(1-u)(2+u)}{\frac{6a}{h} + 2 + u}$ folgt. Da u eine kleine Bruchzahl ist, so kann es in der Addizion gegen ganze Zahlen vernachlässiget werden, und wir erhalten $u = \frac{2.1.2}{\frac{6a}{h} + 2} = \frac{2h}{3a + h}$. Wird dieser Werth oben substituirt, so folgt $y = \frac{h}{3}(1 - u) = \frac{h}{3}\left(1 - \frac{2h}{3a + h}\right) = \frac{h}{3}\left(\frac{3a - h}{3a + h}\right)$.

Beispiel. Es sey die Länge des Mühlarmes $l = 600$ Klafter, das Gefälle 4 Zoll auf 100 Klafter, demnach $h = 4 \cdot 6$ Zoll $= 2$ Fuss. Nehmen wir nun noch die Tiefe des Wassers im Mühlkanale $a = 2$ Fuss an, so folgt $y = \frac{2}{3}\left(\frac{6-2}{6+2}\right) = \frac{1}{3}$ Fuss. Das Gefälle des Kanales wird demnach bei der vortheilhaftesten Anlage der Mühle $\frac{1}{3}$ Fuss betragen, es bleibt also für die Höhe des Wassers über dem Schweller $h - y = 2 - \frac{1}{3} = \frac{5}{3}$ Fuss übrig. Bezeichnen wir mit b die Breite des im Flussarme angelegten Mühlkanals, so wird die Wassermenge, welche in denselben einfliesst $= 0{,}633 \cdot \frac{2}{3} \cdot b \cdot \frac{5}{3} \cdot 2\sqrt{15{,}5 \cdot \frac{5}{3}} = b \cdot 7{,}15$ seyn, wozu das wirksame Gefälle von $\frac{1}{3}$ Fuss kommt. Wie hieraus die übrige Anlage der Mühle berechnet wird, und was für ein Effekt von derselben zu erwarten sey, werden wir im nächsten Kapitel kennen lernen. Wir bemerken daher nur noch, dass diese Rechnung in jedem Falle von grosser Wichtigkeit sey, und dass die geringen Leistungen, welche bei so vielen an Flussarmen angelegten Mühlen Statt hatten, häufig aus der Nichtbeobachtung der Resultate, welche solche Rechnungen liefern, entsprungen sind.

§. 221.

Bei den bisherigen Untersuchungen über die gleichförmige Bewegung des Wassers in Flussbetten und Kanälen haben wir immer unter v die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in dem ganzen Querschnitte f verstanden. Allein diese Geschwindigkeit ist gewöhnlich in den einzelnen Theilen eines Flussprofils verschieden und zwar hat man hierüber folgende Beobachtungen gemacht:

Zwischen geraden oder sanft gekrümmten und parallelen Ufern findet man, dass die Geschwindigkeit des Wassers gewöhnlich in der Mitte, wo die grösste Tiefe Statt findet, auch am grössten ist, gegen beide Seiten oder gegen die Ufer aber abnimmt. Die Ursache hiervon wurde bereits Seite 291 dargethan und liegt in dem Umstande, dass die Widerstände der Seitenwände die Bewegung des Wassers seitwärts mehr verhindern, als in der Mitte, wo es auf einer grössern Tiefe fliesst. Man nennt desshalb auch in jedem Flusse den Ort der grössten Geschwindigkeit, die gewöhnlich in der grössten Tiefe Statt findet, den Stromstrich. Bei gerade fortlaufenden oder sanft gekrümmten Flussufern liegt daher der Stromstrich in der Mitte, bei Krümmungen oder Serpentinen aber auf der Seite des konkaven Ufers, welches von der dahingehenden Richtung des Stromes herrührt.

Man hat weiter beobachtet, dass die Oberfläche eines Flusses selten eine gerade Linie bildet; kann das Wasser frei abfliessen, so bildet es nach der Länge des Flusses eine konvexe Oberfläche, wird es aber in seinem Laufe gehemmt oder gestaut, so entsteht eine konkave Krümmung in dem Wasserspiegel. Man hat ferner beobachtet, dass das Wasser, wenn es in einem Flusse steigt, in der Mitte seines Querprofils höher als an den Ufern steht, wenn es aber fällt, so ist im Gegentheile die Mitte tiefer als beide Ufer; im letztern Falle wird daher das Wasser von den Ufern gegen die Mitte zuströmen und jene Körper, welche am Ufer eingeworfen werden und am Boden nicht aufsitzen, werden gegen die Mitte des Flusses getrieben.

Diese Erfahrungen zeigen uns, dass die Geschwindigkeit des Wassers in den Querprofilen der Flüsse gewöhnlich sehr ungleich sey; sie ändert sich nämlich sowohl in der Breite des Flusses als in der Tiefe desselben. Will man demnach die Wassermenge, welche ein Fluss oder Strom abführt, genau bestimmen, so muss das Querprofil desselben in mehrere Theile zerlegt und in jedem derselben die mittlere Geschwindigkeit bestimmt werden.

§. 222.

Wie die Wassermenge eines kleinen Baches, der in einer Schlucht zwischen Steinblöcken beinahe unsichtbar fortläuft, oder wie die Wassermenge bei einer Quelle, die sich in Wiesengründen zertheilt, verlässlich bestimmt wird, haben wir bereits §. 116 gezeigt.

Bei grössern Gewässern muss das Querprofil des Flusses für sich und eben so auch die Geschwindigkeit des Wassers in den verschiedenen Abtheilungen des Profiles abgesondert bestimmt werden. Das Querprofil muss, behufs der Bestimmung der Wassermenge, in einer solchen Strecke des Flusses gemessen werden, wo die Ufer ziemlich parallel laufen und wo auf eine geraume Weite ein beinahe gleiches Profil und gleiche Geschwindigkeit vorhanden ist.

Bei einem kleinern Flusse wird dieses Querprofil gemessen, indem man senkrecht auf dessen Richtung am Ufer beiderseits einige Stangen im Allignement einsetzt und die Entfernungen vom Ufer mit einer Stange, Kette oder getheerten Schnur, die Tiefen aber mit einer Sondirstange misst, an derem untern Ende ein rundes Bret von einigen Zollen und bei tieferen Flüssen von einem Fuss im Durchmesser befestigt ist. Diess letztere ist vorzüglich bei jenen Flüssen nothwendig, deren Grundbette sandig oder überhaupt weich ist.

Bei breiten Flüssen steckt man ebenfalls an beiden Ufern einige Stangen im Allignement in einer senkrechten Richtung AC auf den Fluss ein, stellt sich in B mit dem Messtische auf, zieht die Linie Bc, misst und trägt die Standlinie BF auf, die wenigstens so gross als die Breite des Flusses seyn muss. Wird nun der Messtisch nach F übertragen, so lässt sich nach gehöriger Einrichtung desselben sogleich die ganze Breite AC des Flusses bestimmen. Nun fährt ein Gehilfe mit einem Schiffe oberhalb der Linie AC beiläufig auf jene Entfernung vom Ufer, wo man die Tiefe messen will, und überlässt dort das Schiff dem Strome, er stellt sich mit der Sondirstange auf dem Vordertheile des Schiffes, setzt diese Stange, so wie er in die Linie AC kommt, senkrecht in den Fluss ein und lässt inzwischen das Schiff entweder anhalten oder tritt von dem Vordertheile im Schiffe zurück, und bleibt auf diese Art durch einige Sekunden in der Richtung der Linie AC mit der eingesetzten Stange stehen. Der Ingenieur bei dem Messtische, welcher dem Schiffe ohnehin gefolgt ist, wird dadurch in den Stand gesetzt, die Sondirstange genau anzuvisiren. Die Visur wird auf dem Messtische numerirt und mit dem gleichen Nummer die mit der Stange gemessene Tiefe bezeichnet. Ist diess geschehen, so fährt der Gehilfe mit dem Schiffe wieder Strom aufwärts und misst auf gleiche Art in einer andern Abtheilung die Tiefe, deren Ort auf dem Messtische auf dieselbe Weise bestimmt wird.

Fig. 8. Tab. 54.

Um nun das Profil aufzutragen, werden entweder sogleich auf dem Messtische oder Fig.
auf einem andern Blatte die Breiten (Abscissen), welche durch Durchschnitte bestimmt 9.
wurden und die zugehörigen Tiefen (Ordinaten) aufgetragen und die Endpunkte der Tab. 54.
Tiefen mit einander verbunden. Weil die Tiefen im Verhältnisse der Breite immer sehr unbedeutend sind, so pflegt man bei dem Auftragen eines solchen Profiles immer zweierlei Masstäbe anzunehmen und zwar die Tiefen 10 bis 20 mal so gross als die Breiten des Profiles zu verzeichnen. Der Flächeninhalt des auf solche Art aufgetragenen Flussprofiles wird nach den Regeln der Planimetrie berechnet, der Umfang desselben wird entweder berechnet oder mit dem Zirkel abgenommen. Bei diesen Profilmessungen ist nur noch zu erinnern, dass man die Tiefen so nahe beisammen nehmen muss, damit zwischen denselben keine bedeutende Unebenheit Statt findet und man daher eine gerade Linie von dem Endpunkte einer aufgetragenen Tiefe bis zu dem Endpunkte der andern wirklich ziehen kann. Es ist übrigens in jedem solchen Falle gut, mehrere Profile eines Flusses zwischen parallelen Ufern zu messen und hieraus das Mittel zu nehmen, weil man erst auf diese Art das wahre Stromprofil mit Genauigkeit berechnen kann.

§. 223.

Zur Messung der **Geschwindigkeit des Wassers** bedient man sich verschiedener Instrumente, welche mehr oder minder ihrem Zwecke entsprechen. Die einfachste Methode, die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche zu bestimmen, besteht in dem Gebrauche **schwimmender Körper**. Man wählt hierzu gewöhnlich eine kupferne hohle Kugel von 6 Zoll Durchmesser, welche mit Oehlfarbe roth ange- Fig.
strichen wird, um im Wasser sichtbar zu seyn. Mittelst einer in der Kugel ange- 10.
brachten Oeffnung werden so lange Schrottkörner oder Wasser hineingegeben, bis sie bei der Einsenkung in den Fluss nur etwas über den Spiegel desselben hervorragt. Die Oeffnung wird hierauf mit einer Schraube oder mit einem Korkstöpsel geschlossen und darauf ein Zeichen befestigt, um die Kugel sichtbar zu machen. Um die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers durch diese Kugel zu bestimmen, wird die Länge AB des Ufers von einem Querschnitt zum andern mit der Kette genau gemes- Fig.
sen, diese Querschnitte durch Stangen abgesteckt und hierauf die Kugel eine Strecke 11.
ober dem ersten Profile in das Wasser geworfen, damit sie, wenn sie in das abgesteckte Profil gelangt, bereits die Geschwindigkeit des Wassers im Flusse angenommen hat. Man beobachtet nun die Zeit an einer Uhr, wann die Kugel durch das erste Profil und wann sie durch das zweite Profil geschwommen ist. Der Unterschied dieser Zeiten gibt die Dauer der Bewegung durch den Raum AB, woraus sich die Geschwindigkeit bestimmen lässt. Zu dieser Beobachtung werden übrigens, wenn das Wasser mit einer bedeutenden Geschwindigkeit fliesst, zwei Personen erfordert, wovon eine mit einer guten Uhr versehen ist, und von der andern das Zeichen erhält, wenn die Kugel durch das andere Profil gegangen ist.

Beispiel. Es sey die Entfernung der zwei abgesteckten Profile AB = 600 Fuss, die Zeit, um welche die Kugel durch das erste Profil ging, sey $8^{h}\ 6^{Min.}\ 13^{Sek.}$ und die

Zeit, wann sie durch das zweite Profil ging, sey $8^h\ 9^{Min.}\ 54^{Sek.}$. Demnach ist die Zeit, welche die Kugel von einem Profile zum andern benöthigte
$= 8^h\ 9^{Min.}\ 54^{Sek.} - 8^h\ 6^{Min.}\ 13^{Sek.} = 3^{Min.}\ 41^{Sek.} = 221^{Sek.}$ und die Geschwindigkeit
$v = \frac{600}{221} = 2{,}7$ Fuss.

Diese Methode hat bei aller Einfachheit, welche sie empfehlen würde, mehrere Nachtheile:

1tens. Bei Flüssen ist die Atmosphäre selten ruhig, und es wird eine schwimmende Kugel, wenn der Wind derselben entgegenkommt, in ihrer Bewegung aufgehalten, im Gegentheile aber beschleunigt, wenn der Wind der Richtung des Flusses folgt. Demnach wird die Messung mit schwimmenden Körpern selten die erforderliche Genauigkeit gewähren.

2tens. Wir haben früher bemerkt, dass die Oberfläche des Wassers in einem Stromprofile selten eine horizontale Linie bildet und dass das Wasser in demselben gewöhnlich entweder von der Mitte des Flusses gegen die Ufer oder von den Ufern gegen die Mitte sich bewege. Hieraus folgt, dass eine schwimmende Kugel von dem Orte, wo sie eingeworfen wurde, selten in einer zu den Ufern parallelen Richtung fortfliessen, und sich im Gegentheile dem Ufer entweder nähern oder davon entfernen werde. Man kann daher eine schwimmende Kugel wohl anwenden, um die Geschwindigkeit des Stromstriches in einem Flusse, nicht aber um die Geschwindigkeit des Wassers auf verschiedenen Entfernungen vom Ufer zu bestimmen. Uiberhaupt werden schwimmende Kugeln gewöhnlich nur dazu gebraucht, um die Geschwindigkeit in einer regulären Flusstrecke von kleinerer Breite, in einem Bache oder in einem Mühlgraben zu bestimmen, und nun mittelst dieser Geschwindigkeit ein anderes Instrument zum Gebrauche der Messungen für Flüsse zu adjustiren.

§. 224.

Es kommt häufig der Fall vor, dass man die Geschwindigkeit des Wassers an einem bestimmten Orte ausmitteln soll, z. B. in einem Flusse, wo keine gleichförmige Bewegung Statt findet, ingleichem die Geschwindigkeit, womit das Wasser in einem Mühlgerinne gegen ein Wasserrad fliesst. In solchen Fällen ist der Raum, innerhalb welchem man diese Geschwindigkeit zu bestimmen hat, zu kurz, um eine
Fig. schwimmende Kugel anzuwenden; man bedient sich daher eines kleinen Rädchens
12. Tab. von 12 bis 18 Zoll im Durchmesser, mit blechernen Schaufeln nach Art der Strauber-
54. räder gebaut. Die Wellzapfen dieses Rädchens bewegen sich in einem Rahmen, der an einer Stange mit der Hand fest gehalten wird. Wird nun das Rädchen in die Oberfläche des Wassers gestellt, so wird es sich in dem Falle mit einer ganz gleichen Geschwindigkeit wie das Wasser fortbewegen, wenn die Reibung der Zapfen wirklich sehr unbedeutend ist. Zu diesem Behufe lässt man die Achsen des Rädchens, welches sehr leicht gebaut seyn muss, in genau gedrehte Spitzen auslaufen. Da die Zeit eines Umlaufes dieses Rädchens zu kurz wäre, um hiernach die Geschwindigkeit des Wassers verlässlich bestimmen zu können, so werden immer mehrere Umläufe desselben

gezählt, und hieraus die Dauer eines Umlaufes berechnet. Zu diesem Zwecke befestigt man gewöhnlich eine Schnur an der Welle des Rädchens, und lässt sie, ohne stark anzuziehen, an derselben aufwinden; die Anzahl der Windungen ist offenbar der Anzahl der Umläufe gleich. Wenn z. B. während 2 Minuten 360 Umläufe Statt hatten, so ist die Zeit eines Umlaufes $= \frac{120}{360}$ Sekunden. Nehmen wir nun an, dass der Halbmesser des Rädchens bis zur Mitte der Schaufeln $= \frac{1}{2}$ Fuss ist, so ist die Geschwindigkeit des Wassers an dem Orte der Beobachtung $v = 3{,}1416 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{360}{120} = 9{,}42$ Fuss.

Die Umläufe an einem solchen Rädchen können auch noch auf eine andere Art gemessen werden. Man bringt nämlich eine Schraube ohne Ende an den Achsen des Rädchens an, und lässt sie in ein Stirnrad von z. B. 60 Zähnen eingreifen. Bei jeder Umdrehung des Rädchens wird daher ein Zahn weiter gerückt und man kann durch Abzählen der Zähne von einem bezeichneten Anfangspunkte die Zahl der Umdrehungen und hieraus die Geschwindigkeit leicht berechnen. Fig. 13. Tab. 54.

§. 225.

Um die Geschwindigkeit des Wassers im Mittel der verschiedenen Tiefen zu bestimmen, d. h. die mittlere Geschwindigkeit an einem bestimmten Orte einer Flussstrecke zu finden, dient der Stab des *Cabeo*. Diess ist ein hölzerner Stab oder auch eine blecherne Röhre, die an ihrem untern Theile durch hineingeworfenen Sand oder andere Körper beschwert wird, damit sie bei der Einsenkung in ein ruhiges Wasser die senkrechte Richtung annimmt, und in jener Tiefe stehen bleibt, bis zu welcher man die Geschwindigkeit in dem Flusse messen will. Lässt man nun eine solche Röhre oder einen an seinem Ende beschwerten Stab bis beinahe am Boden des Flusses im Wasser gehen, so ist offenbar, dass sich derselbe mit der mittlern Geschwindigkeit des Wassers fortbewegen werde. Fig. 14.

Man hat auf diese Art gefunden, dass die Stäbe oder Röhren selten senkrecht, sondern immer entweder vorwärts oder rückwärts geneigt im Wasser gehen. Versucht man diese Stäbe zwischen Brückenpfeilern oder andern Flussverengungen, so bleibt der untere Theil derselben vorwärts und zieht den obern nach sich; demnach muss die Geschwindigkeit des Wassers am Boden grösser als an der Oberfläche seyn. Findet man dagegen, wie es gewöhnlich der Fall ist, dass der obere Theil der Röhre vorauseilt, während der untere zurückbleibt, so muss auch die Geschwindigkeit oben grösser, unten aber kleiner seyn.

Dieselben Beobachtungen hat schon *Mariotte* in Frankreich gemacht; er verband nämlich mehrere ungleich schwere Kugeln von Wachs mittelst eines Fadens nach Art einer Kette mitsammen und liess sie nun im Flusse fortschwimmen. Da die Kugeln sich in keiner geraden, sondern in einer krummen Linie gemeinschaftlich fortbewegten, so schloss er, dass bei jener Kugel, welche vorauseilt, die grösste Geschwindigkeit vorhanden seyn müsse und umgekehrt. Fig. 15.

Diese beiden Methoden, die Geschwindigkeit zu messen, sind mit mehreren Unbequemlichkeiten verbunden. Da die Stäbe so viel als möglich nahe am Boden gehen

müssen, um wirklich die mittlere Geschwindigkeit des Wassers auf der ganzen Tiefe anzuzeigen, so bleiben dieselben leicht an den Steinen, Wurzeln und andern im Flusse liegenden Gegenständen hängen, welches ebenfalls bei der Verbindung mehrerer Kugeln geschieht. Ueberdiess bewegen sich die Stäbe mit dem übrigen Wasser gewöhnlich gegen die Mitte oder den Stromstrich des Flusses und man kann daher seitwärts nur für kurze Entfernungen die Geschwindigkeit messen. Dieser Apparat leistet daher nicht diejenigen Dienste, welche man von einem guten Instrumente, mittelst dessen die mittlere Geschwindigkeit und demnach die Wassermenge eines Flusses genau bestimmt wird, erwarten kann.

§. 226.

Fig. 16. Tab. 54. Mittelst der **Röhre des** *Pitot* kann die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche und dann auch in jeder Tiefe eines Flusses gemessen werden. Sie besteht aus einer gläsernen Röhre von ½ bis 1 Zoll im Durchmesser, die unten mit einem senkrecht auf sie gestellten Trichter von Blech verbunden ist. Man kann hierzu auch eine blecherne Röhre mit einem blechernen Trichter nehmen, wo aber am Ende der erstern ein Stück Glasröhre angebracht ist. In beiden Fällen wird die Röhre an einer Leiste befestigt, die sich an einem Pfahle auf- und abschieben lässt. Man stellt nun den Pfahl an dem betreffenden Orte in das Wasser und schiebt den Trichter bis zu jener Tiefe hinab, wo man die Geschwindigkeit messen will. Wenn das Wasser nicht fliesst, so bleibt es in der Röhre auf gleicher Höhe als ausserhalb derselben. Wird jedoch der Trichter in einem Fluss und zwar gegen das fliessende Wasser gestellt, so wird das in der Röhre befindliche Wasser so hoch über den äussern Wasserpiegel hinaufgetrieben, bis der Druck des bewegten Wassers mit dieser Höhe im Gleichgewichte ist. Es wird daher die Höhe h der Wassersäule der Geschwindigkeitshöhe des Wassers gleich seyn oder $h = \frac{c^2}{4g}$. Da aber Versuche gezeigt haben, dass diese Gleichung nicht in allen Fällen mit der Erfahrung übereinstimmt, dass jedoch jederzeit die Höhe h dem $\frac{c^2}{4g}$ proporzional ist, so können wir allgemein $h = m \cdot \frac{c^2}{4g}$ setzen. Wird itzt das Instrument an einem Orte eingesenkt, wo die Geschwindigkeit C an der Oberfläche mittelst einer schwimmenden Kugel bestimmt wurde, und hierbei die Höhe H, auf welche das Wasser an demselben Orte in der *Pitot'*schen Röhre sich erhebt, gemessen, so hat man abermals $H = m \cdot \frac{C^2}{4g}$, man kann daher den Koeffizienten m hieraus bestimmen, in die Formel $h = m \cdot \frac{c^2}{4g}$ substituiren und nun für jeden Werth von h die Geschwindigkeit c berechnen.

Dieses Instrument empfiehlt sich durch seine besondere Einfachheit und durch den Umstand, dass alle Reibung hierbei beseitigt ist. Es hat jedoch den Fehler, dass man es bei kleinen Geschwindigkeiten nicht gebrauchen kann, weil dann der Raum h zu klein ausfällt z. B. es sey $m = 1$ und $c = 1$ Fuss, so ist $h = \frac{1}{62}$ Fuss $= 2{,}3$ Linien, welches zu unbedeutend ist, um gemessen werden zu können, zumal als das Wasser sich an der Röhre wegen der Adhäsion mit dem Glase gewöhnlich etwas hinaufzieht.

Um das Instrument für grössere Geschwindigkeiten mit Genauigkeit verwenden zu können, und bei den Beobachtungen bloss jene Höhe zu erhalten, auf welche das Wasser in der Röhre wegen seines hydrostatischen Druckes steigt, bringt man an demselben Stabe, woran die Röhre mit dem Trichter befestigt ist, noch eine zweite unten und oben offene Röhre an, welche mit der erstern gleichen Durchmesser hat. Da nun das Wasser wegen seiner Adhäsion an das Glas in beiden Röhren auf eine gleiche Höhe steigt, so braucht man bloss von der Wasserhöhe in der *Pitot*'schen Röhre, die Höhe in der zweiten offenen Röhre abzuziehen, um das Maass der eigentlichen Geschwindigkeitshöhe zu erhalten. Man muss ferner dem Stabe oder Pfahle, an welchem die *Pitot*'sche Röhre befestigt wird, gegen das Wasser zu eine etwas schneidige oder eckigte Form geben, weil sonst das Wasser zurückstaut und höher als von aussen im Flusse stehen würde. Endlich muss der Trichter von vorne hinlänglich erweitert seyn, damit der Widerstand der Wände auf die Bestimmung der Geschwindigkeit keinen Einfluss nehme. Fig. 17. Tab. 54.

§. 227.

Unter den Instrumenten, welche zur Messung der Geschwindigkeit des Wassers sowohl an der Oberfläche als in verschiedenen Tiefen bei Flüssen gebraucht werden, hat sich das hydrometrische Pendel oder der sogenannte Stromquadrant durch seine Einfachheit in der Anfertigung sowohl, als in der Anwendung allgemein empfohlen. Diess Instrument gehört zu den ältern Geschwindigkeitsmessern. Es erhielt seinen Namen von seiner ehemaligen Form, nämlich einem in Grade eingetheilten Viertelkreise, in dessen Mitte eine Kugel, deren spezifische Schwere grösser, als jene des Wassers ist, an einem Faden befestigt war. Um das Instrument horizontal stellen zu können, hing an demselben Mittelpunkte noch ein Loth herab. Wurde nun die Kugel in ein fliessendes Wasser gebracht, so konnte man aus dem Winkel, welchen der Faden mit dem Lothe bildete, die Geschwindigkeit des Wassers berechnen. Die gegenwärtig gebräuchliche Form des Stromquadranten oder von den Italiänern sogenannten hydrometrischen Pendels ist ein Rechteck ABOM, an dessen untern Theile OM die Skale, welche die Geschwindigkeit des Wassers anzeigt, angebracht ist. Den horizontalen Stand des Instrumentes erkennt man durch die Wasserwage a b. Fig. 18. Fig. 19.

Wir wollen nun zuerst den Fall annehmen, dass die Skale für ein hydrometrisches Pendel zu berechnen ist, welches bloss zur Messung der Geschwindigkeit an der Oberfläche des Wassers angewendet werden soll. Wird eine Kugel von Elfenbein, Messing, Kupfer, Bley oder einem andern Metalle an einen Faden von Seide, Hanf, Flachs oder an einen dünnen Metalldraht befestigt und in das Wasser gehalten, so stellt sich dieselbe in ruhigem Wasser in die Richtung der Schwerlinie, welche mit der Oberfläche des Wassers einen rechten Winkel macht; wird aber dieselbe in ein fliessendes Wasser gehalten, so treibt der Stoss des Wassers die Kugel von der Senkbleilinie ab und das Pendel begibt sich in die Richtung CGF der Diagonallinie, welche in dem Kräftenparallelogramm GHFL von dem Gewichte der Kugel im Wasser und der Stosskraft des Wassers gebildet wird. Da nämlich die Kugel im Wasser das Gewicht M hat, so würde sie, wenn sie nicht von dem Faden zurückgehalten würde, im Wasser senkrecht herabfallen, wogegen die auf die Kugel wirkende Stosskraft K die-

Fig. 19. Tab. 54. selbe in der horizontalen Richtung fortzutreiben strebt. Da nun der Faden die Wirkung der beiden Kräfte GH und GL aufhalten muss und diess nur in der Richtung der Diagonale thun kann, so ergibt sich, dass die Richtung des Fadens ausserhalb des Wassers die Richtung der Diagonale angibt, welche von den beiden Kräften im Wasser gebildet wird. Demnach sind auch die Dreiecke CON und GHF einander ähnlich und es ist HF : GH oder K : M = ON : CO, woraus $\frac{ON}{CO}$ oder $\frac{x}{a} = \frac{K}{M}$ folgt, wenn wir nämlich die Höhe des Instrumentes CO = a und die horizontale Entfernung, um welche das Pendel durch den Stoss des fliessenden Wassers von der Lothlinie AO abgelenkt wird, ON = x setzen. Das Gewicht M der Kugel wird durch Abwägung derselben im Wasser bestimmt.

Hinsichtlich des Stosses oder Druckes, welchen das fliessende Wasser an die Kugel ausübt, dient die vorläufige Bemerkung, dass der Druck des Wassers in einem Gefässe gegen die Fläche einer daselbst angebrachten Oeffnung dem Gewichte einer Wassersäule gleich ist, welche die Höhe des Wasserstandes oberhalb der Mitte der Oeffnung zu ihrer Höhe und die Fläche der Oeffnung F zur Grundfläche hat. Wird diese Fläche hinweggenommen, so fliesst das Wasser mit einer Geschwindigkeit aus, welche der Höhe des Wasserstandes zugehört, und so gross ist, als diejenige Geschwindigkeit, welche die Schwere den fallenden Körpern durch die Höhe des Fallraumes $\frac{c^2}{4g}$ beibringt. Wir können also die Kraft des fliessenden Wassers derjenigen Kraft gleichsetzen, welche die Geschwindigkeit c des Wassers bewirkt hat. Daraus folgt, dass die Triebkraft des mit der Geschwindigkeit c fliessenden Wassers dem Gewichte einer Wassersäule gleich sey, welche die Querschnittsfläche F der Kugel zur Grundfläche und die Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{4g}$ zur Höhe hat, oder $K = 56{,}4\,F \cdot \frac{c^2}{4g}$.

Da jedoch das Wasser nicht an die winkelrecht entgegengestellte Durchschnittsfläche F der Kugel, sondern an die kugelförmige Oberfläche wirkt, folglich die verschiedenen Richtungen der kugelförmigen Oberfläche noch zu berücksichtigen seyn würden, so wollen wir die Kraft $K = m \,.\, 56{,}4\,F \cdot \frac{c^2}{4g}$ setzen, wo m eine durch Versuche zu bestimmende Zahl ist. Die Substituzion dieser Werthe in die obige Gleichung gibt

$$\frac{x}{a} = \frac{m \,.\, 56{,}4 \,.\, F}{M} \cdot \frac{c^2}{4g}, \text{ demnach } \frac{c^2}{4g} = \frac{x}{a} \cdot \frac{M}{m \,.\, 56{,}4 \,.\, F}.$$

Herr *Eytelwein* führt in seinem Handbuche der Mechanik fester Körper und der Hydraulik. 2^te Auflage, Seite 244 an, dass nach seinen Versuchen der Stoss des Wassers auf eine Kugel, deren Durchschnittsfläche F ist, nur $K = 0{,}7886 \,.\, 56{,}4 \,.\, F \cdot \frac{c^2}{4g}$ sey. Wir könnten demnach diesen Werth in die obige Gleichung substituiren, die übrigen Grössen bei dem Instrumente abmessen und so die Geschwindigkeit c für einen jeden Werth von x an der Skale berechnen. Es ist inzwischen zuträglicher, mit diesem Pendel an einem fliessenden Wasser, dessen Geschwindigkeit C bekannt ist, einen vorläufigen Versuch zu machen. Es sey die Entfernung, auf welche der Faden bei diesem Versuche getrieben wird = e, so haben wir für diesen Ort $\frac{C^2}{4g} = \frac{e}{a} \cdot \frac{M}{m \,.\, 56{,}4 \,.\, F}$. Werden beide

Gleichungen durch einander dividirt, so erhalten wir $\frac{c^2}{C^2} = \frac{x}{e}$ und daher $c : C = \sqrt{x} : \sqrt{e}$ oder es verhalten sich die Geschwindigkeiten des Wassers wie die Quadratwurzeln aus den Räumen, welche der Faden an der Skale beschreibt. Da in der letzten Gleichung die Höhe des Instrumentes a, die Fläche der Kugel F, das Gewicht derselben M und der Koeffizient m wegfallen, sonach die Geschwindigkeit durch die einfache Gleichung $c = C\sqrt{\frac{x}{e}}$ berechnet wird, so folgt von selbst, dass die Grössen C und e mit aller Genauigkeit bestimmt werden müssen, um hierdurch das Instrument vollkommen zu adjustiren.

Die Messung einer Geschwindigkeit C, welche bei dieser Proporzion vorausgesetzt wird, kann an der Oberfläche des Flusses mittelst schwimmender Körper, oder nach dem Vorschlag des *Eustach Manfredi* (*Nuova Raccolta* T. II. p. 373 etc.) durch Ziehen einer Pendelvorrichtung auf ruhig stehendem Wasser, Messung des beschriebenen Raumes und der dabei verflossenen Zeit, ohne Anstand bewerkstelligt werden.

§. 228.

Beispiel. Es sey die Geschwindigkeit an einem Orte mittelst einer schwimmenden Kugel gemessen und C = 2 Fuss gefunden worden. Bei der Einsenkung der Kugel an demselben Orte sey e = 10 Zoll. Werden diese Werthe substituirt, so ist $x = \frac{c^2 . 10''}{4}$. Setzt man nun c = 1 Fuss, so ist x = 2,5 Zoll, für c = 2 Fuss ist x = 10 Zoll, für c = 3 Fuss ist x = 22,5 Zoll, für c = 4 Fuss ist x = 40 Zoll, für c = 5 Fuss ist x = 62,5 Zoll, für c = 6 Fuss ist x = 90 Zoll, u. s. w.

Sollte nun dieses Instrument nur bis 6 Fuss zeigen, so wäre hierzu eine Breite O M = b = 90 Zoll = 7,5 Fuss erforderlich. Da diese Breite das Instrument zu unbehülflich machen würde, und da die Rechnung meistens so grosse Maasse gibt, so hilft man sich dadurch, dass man die Geschwindigkeiten, wenn die Länge des Instrumentes b nicht mehr zureicht, auf der Leiste E M aufträgt, Es sey die Höhe, welche hier aufzutragen kommt D M = y, so haben wir wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke D M N und C O N die Proporzion C O : O N = D M : MN oder a : x = y : x — b, woraus $y = \frac{a}{x}(x - b)$ folgt. In dieser Gleichung kann y nie = a werden, weil sonst x unendlich gross seyn, oder die Linie C N parallel zu O M seyn müsste. Bei der Ausfertigung des Instrumentes werden die für x und y gefundenen Werthe gewöhnlich auf Streifen von Messingblech aufgetragen, welche an den hölzernen Rahmen aufgeschraubt werden. Fig. 20. Tab. 54.

§. 229.

Das bisher angegebene Verfahren dient nur zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche und in einer geringen Tiefe unter derselben, wo nämlich die Geschwindigkeit des Wassers mit jener an der Oberfläche noch gleich angenommen werden kann. Wenn es sich aber darum handelt, die Geschwindigkeit in einer grössern Tiefe zu bestimmen, so ist es nöthig zugleich auf die Stosskraft des Wassers an den Faden Rücksicht zu nehmen, weil die Richtung des Fadens aus-

Fig. 21. Tab. 54. serhalb des Wassers nicht nur von der Stosskraft des Wassers an die Kugel, sondern auch durch jene an den Faden bestimmt wird. Um dieses mit hinlänglicher Genauigkeit zu bewerkstelligen, müssen wir die ganze Tiefe des Wassers, auf welcher sich die Kugel befindet, in mehrere Abtheilungen (C P, P R ····· von einer gleichen Höhe eintheilen *) und die Wirkung für jede Abtheilung besonders bestimmen. Wenn die Kugel sich unter dem Wasser in der zweiten Abtheilung in Q befindet, so ist das Gewicht der Kugel im Wasser oder M = Q F und die Triebkraft des, mit der Geschwindigkeit v fliessenden Wassers an dieselbe $K = m \cdot 56{,}4 \cdot F \cdot \frac{v^2}{4\,g} = Q\,E$; demnach würde die Richtung des Fadens, wenn Q an der Oberfläche wäre, durch die Diagonale Q G bestimmt. Weil aber der Faden D Q vom Wasser nach der horizontalen Richtung fortgetrieben wird, so wollen wir diese Kraft mit S bezeichnen. Da dieselbe auf den ganzen Faden D Q gleichförmig vertheilt ist, so können wir die Gesammtwirkung dieser Kraft in den Mittelpunkt der Linie D Q setzen, sonach annehmen, dass sowohl das untere Ende Q des Fadens als auch das obere Ende D, ein jedes von der halben Kraft ½ S, getrieben wird. Weil die Wirkung dieser Kraft sich mit der Stosskraft Q E vereinigt, so sey E H = ½ S. Dadurch erhalten wir im Punkte Q die senkrecht herabwirkende Kraft Q F = M und die horizontale Kraft Q H = K + ½ S. Wird aus beiden das Parallelogramm F Q H J konstruirt, so gibt die Diagonale Q J die Richtung und auch die Gesammtkraft der in Q wirkenden Kräfte, welche der Faden nur in dem Falle halten kann, wenn die Richtung D Q sich in der Richtung Q J befindet. Der Faden wird also im Punkte D die Kraft Q J, oder was eben so viel ist, die beiden Kräfte Q F = D F′ und Q H = D H′ zu tragen haben. Am Punkte D wirkt aber noch die zweite Hälfte der Stosskraft an den Faden ½ S = H′ K. Diese Kräfte zusammen geben die mittlere Kraft D L, mit welcher der Faden ausserhalb des Wassers gezogen wird; es muss also die Richtung D L und A D zusammen fallen und der Punkt A hat die Wirkung aller Kräfte, welche sowohl an die Kugel als auch an den Faden wirken, zu erleiden.

Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke D F′ L und A O N haben wir die Proporzion A O : O N = D F′ : F′ L = M : K + S, worin noch der horizontale Druck S des Wassers an den Faden D Q zu bestimmen ist. Dieser Druck ist nach §. 16 eben so gross als der Druck an einen senkrecht gestellten Faden von gleicher Dicke und der Länge D M. Setzen wir nun den Durchmesser des zylindrischen Fadens = d und die Höhe D M = t, so ist die dem Wasser entgegenstehende Fläche des Fadens = d . t, und wenn wir die Geschwindigkeit des Wassers in dieser ersten Abtheilung für die Höhe D M = c setzen, so wird der horizontale Druck des Wassers an den Faden $S = m \cdot 56{,}4 \cdot d \cdot t \cdot \frac{c^2}{4\,g}$ seyn. Werden diese Werthe in obige Proporzion substituirt, so haben wir $a : x = M : m \cdot 56{,}4 \cdot F \cdot \frac{v^2}{4\,g} + m \cdot 56{,}4 \cdot d \cdot t \cdot \frac{c^2}{4\,g}$. Wird diess Instrument zum Behufe seiner Adjustirung an einem Orte eingesenkt, wo die Geschwindigkeit an

*) Will man die Rechnung genauer führen, so setzt man die Höhe jeder Abtheilung C P = P R ···· = d x.

der Oberfläche $= C$ und der Ausschlag $x = e$ ist, so gibt diess die Proporzion $a : e = M : m \cdot 56{,}4 \cdot F \cdot \frac{C^2}{4g}$. Werden die Glieder dieser Proporzionen durch einander dividirt, so erhalten wir $1 : \frac{x}{e} = 1 : \frac{v^2}{C^2} + \frac{d \cdot t}{F} \cdot \frac{c^2}{C^2}$, woraus $\frac{v^2}{C^2} = \frac{x}{e} - \frac{d \cdot t}{F} \cdot \frac{c^2}{C^2}$ folgt. Zur Erleichterung der weitern Rechnungen wollen wir statt den Quadraten der Geschwindigkeiten die Druckhöhen einführen, demnach $\frac{C^2}{4g} = H$, $\frac{c^2}{4g} = h$ und die Geschwindigkeitshöhe für den Ort der Kugel $\frac{v^2}{4g} = u$ setzen. Wir haben demnach

$\frac{u}{H} = \frac{x}{e} - \frac{d \cdot t}{F} \cdot \frac{h}{H}$ und hieraus $u = H \cdot \frac{x}{e} - \frac{d \cdot t}{F} \cdot h$. Ist mittelst dieser Gleichung u gefunden, so findet man hieraus die Geschwindigkeit $v = 2\sqrt{g \cdot u}$.

§. 230.

Um die Geschwindigkeit des Wassers in der dritten Abtheilung zu finden, müssen wir die Kugel in diese Abtheilung versetzen. Bezeichnen wir die Geschwindigkeit des Wassers in derselben abermals mit v oder die Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g} = u$, die Geschwindigkeitshöhe der zweiten Abtheilung $= h'$, die Geschwindigkeitshöhe in der ersten Abtheilung $= h$, und auf gleiche Art den horizontalen Druck des Wassers an den Faden für die erste Abtheilung $= S$ und für die zweite Abtheilung $= S'$, so haben wir für den Punkt D die Gleichung $K + S' = m . 56{,}4 . F . u + m . 56{,}4 . d . t . h'$. Weil sich im Punkte D mit dem horizontalen Drucke $K + S'$ noch der Druck an den Faden der ersten Abtheilung $\frac{1}{2} S$ vereinigt, und hierzu an der Oberfläche bei D′ noch die zweite Hälfte des Druckes an den Faden $\frac{1}{2} S$ kommt, so haben wir an der Oberfläche den ganzen horizontalen Druck $D'K'' = K + S' + S$ und den senkrechten Druck $D'F'' = M$. Da sich nun der Faden in die Richtung der Diagonale $D'L''$ stellen muss, so haben wir $AO : ON = D'F'' : F''L''$ oder $a : x = M : K + S' + S$ und wenn statt K, S′ und S die betreffenden Werthe gesetzt werden, $a : x = M : m . 56{,}4 . F . u + m . 56{,}4 . d . t . h + m . 56{,}4 . d . t . h'$. Zur Adjustirung des Instrumentes muss man dasselbe an einem Orte an der Oberfläche eines Flusses versuchen, wo die Geschwindigkeit C des Wassers auf andere Weise gefunden wurde. Ist hierbei der Ausschlag $x = e$, so erhalten wir für diesen Ort: Fig. 22. Tab. 54.

$a : e = M : m . 56{,}4 . F . H$. Die Division dieser zwei Proporzionen durch einander gibt $1 : \frac{x}{e} = 1 : \frac{u}{H} + \frac{d . t}{F} \left(\frac{h + h'}{H}\right)$, woraus $u = H \cdot \frac{x}{e} - \frac{d . t}{F} (h + h')$ folgt.

Auf gleiche Art findet man die Geschwindigkeitshöhe der vierten Abtheilung, wenn wir jene der dritten mit h'' bezeichnen $u = H \cdot \frac{x}{e} - \frac{d . t}{F} (h + h' + h'')$ *) und so

*) Für eine genauere Rechnung wäre $t = dz$ zu setzen und wenn y der allgemeine Ausdruck für die Geschwindigkeitshöhe ist, so wäre $t\,(h + h' + h'' \cdots\cdots) = \int y . dz$, folglich $u = H \cdot \frac{x}{e} - \frac{d}{F} \int y . dz$, wo nun das $\int y . dz$ gefunden werden kann, wenn die Gleichung zwischen y und z oder die sogenannte Skale der Geschwindigkeitshöhen gegeben ist.

weiter für alle Abtheilungen. Aus diesen Gleichungen sehen wir nun, dass die Messungen der Geschwindigkeiten des Flusses in verschiedenen Tiefen in jedem Falle an der Oberfläche angefangen, und von einer Abtheilung zur andern nach der Tiefe fortgesetzt werden müssen.

§. 231.

In Bezug auf die Konstrukzion des Instrumentes ist zu erinnern, dass die Grössen M und a zwar in dieser Rechnung weggefallen sind, jedoch ihre Werthe bei der Adjustirung des Instrumentes auf die Grösse e einen merklichen Einfluss haben. Wenn mit diesem Instrumente kleine Geschwindigkeiten mit Verlässlichkeit gemessen werden sollen, so müssen die Grössen M und a so bestimmt werden, dass sowohl e als auch x einen der verlangten Genauigkeit angemessenen Werth erlangt. Hierzu dient uns die Proporzion $a : e = M : m . 56{,}4 . F . H$. Soll e gross werden, so muss $\frac{m \cdot 56{,}4 \cdot F \cdot H \cdot a}{M}$ auch für geringe Werthe von H gross werden. Diess lässt sich bewerkstelligen, wenn die Querschnittsfläche F der Kugel gross und dagegen ihr Gewicht im Wasser M klein gemacht wird. Das letztere findet Statt, wenn die Materie woraus die Kugel verfertigt wird, eine geringe spezifische Schwere hat, die jedoch in jedem Falle grösser seyn muss als die spezifische Schwere des Wassers, weil sie sonst an der Oberfläche schwimmen und nicht untersinken würde. Da jedoch die Kugel auch den gehörigen Grad der Festigkeit haben muss, so erreicht man in mehreren Beziehungen den vorgesetzten Zweck, wenn man bei diesem Instrumente hohle Kugeln von Metall anwendet.

Es sey demnach der äussere Durchmesser der hohlen Kugel $= D$ und der innere Durchmesser des leeren Raumes $= \Delta$, so ist $F = \frac{1}{4}\pi . D^2$ und der Kubikinhalt für die äussere Kugelfläche $= \frac{2}{3} D . F = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4}\pi . D^3$. Auf gleiche Art ist der kubische Inhalt des hohlen Raumes $= \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4}\pi . \Delta^3$, demnach gibt die Subtrakzion beider Grössen den kubischen Inhalt der hohlen Kugel $= \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4}\pi (D^3 - \Delta^3)$. Setzen wir die spezifische Schwere der Materie, woraus die Kugel verfertigt wird $= s$, so ist das absolute Gewicht derselben $= 56{,}4 . s . \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4}\pi (D^3 - \Delta^3)$. Hiervon muss das Gewicht des verdrängten Wassers $56{,}4 . \frac{2}{3} . \frac{1}{4}\pi . D^3$ abgezogen werden; also ist das Gewicht der Kugel im Wasser $M = 56{,}4 . \frac{2}{3} . \frac{1}{4}\pi (s . D^3 - s . \Delta^3 - D^3) = 56{,}4 . \frac{2}{3} . \frac{1}{4}\pi . D^3 \left(s - s \cdot \frac{\Delta^3}{D^3} - 1\right)$. Setzen wir nun den Durchmesser des hohlen Kugelraumes $\Delta = D - 2\delta$, wo nämlich δ die Dicke der Kugelmasse vorstellt, so ist $\frac{\Delta^3}{D^3} = 1 - 6\frac{\delta}{D}$, wo die höheren Potenzen von $\frac{\delta}{D}$ aus dem Grunde vernachlässigt werden, weil δ immer kleiner als D ist und es hier nur auf eine beiläufige Bestimmung von δ ankommt. Wir erhalten demnach $M = 56{,}4 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^3 \left(\frac{6\delta . s}{D} - 1\right)$. Wird dieser Werth in die obige Proporzion gesetzt, so ist $a : e = \frac{2}{3} D \left(\frac{6\delta . s}{D} - 1\right) : m . H$, woraus $\delta = \frac{\frac{3 H . m . a}{2 e} + D}{6 s}$ folgt.

Wird die Kugel von Kupfer verfertigt, so ist $s = 9$, wir wollen ferner $m = 1$ setzen und die Höhe des Instrumentes $a = 24$ Zoll, dann den äussern Durchmesser der Kugel

$D=3$ Zoll setzen; diess gibt allgemein die Dicke der Kugelmasse $\delta = \frac{12\frac{H}{e}+1}{18}$. Wird nun z. B. verlangt, dass das Instrument die Geschwindigkeitshöhen 6 Mal grösser angeben soll, so ist $\frac{H}{e}=\frac{1}{6}$, also $\delta=\frac{2+1}{18}=\frac{1}{6}$ Zoll. Wollte man mit dem Instrumente bei kleinen Geschwindigkeiten die Geschwindigkeitshöhe 12 Mal grösser erhalten, so wäre $\frac{H}{e}=\frac{1}{12}$, also $\delta=\frac{1+1}{18}=\frac{1}{9}$ Zoll, u. s. w.

Bei den Messungen, welche in der nachfolgenden Tabelle enthalten sind, hat man sich eines Instrumentes bedient, dessen Höhe $a=24$ Rheinl. Zoll, $\frac{H}{e}=\frac{1}{6}$, der äussere Durchmesser der kupfernen Kugel $D=3$ Rheinl. Zoll, folglich $\delta=\frac{1}{6}$ Zoll oder 2 Linien war. Das Gewicht eines Preussischen Kubikfuss Wasser beträgt nach *Eytelwein*, Seite 231 bei 15° *Reaum.* Temp. 66 preuss. Pfunde. Das Gewicht der hohlen Kugel ausser dem Wasser betrug daher, wie aus den aufgestellten Formeln erhellet 1,447 ℔, das Gewicht des gleichen Volumens Wasser 0,540 ℔, demnach das Gewicht der Kugel im Wasser $M=0,907$ ℔; die Dicke des Fadens war $d=\frac{1}{4}$ Rheinl. Linie. Die Beobachtungen, welche mit diesem Instrumente gemacht wurden und die hiernach berechneten Geschwindigkeitshöhen u und Geschwindigkeiten v in den verschiedenen Tiefen enthält die nachstehende Tabelle, worin $4g=4.15\frac{5}{8}$ Rheinl. Fuss $=750$ Rheinl. Zoll gesetzt ist.

Tiefe des Wassers in Rheinl. Fuss.	Beobachtete Abweichung x	Berechnete Geschwindigkeitshöhe nach der Gleichung $\frac{x}{6}-\frac{1}{28}(h+h'+h''\ldots\ldots)=u$	Berechnete Geschwindigkeit des Wassers $v=\sqrt{750.u}$
	in Rheinländer Zollen.		
0	26,8	4,467 — 0,000 = 4,467	57,88
1	27,2	4,533 — 0,160 = 4,373	57,27
2	27,7	4,617 — 0,316 = 4,301	56,80
3	28,0	4,667 — 0,469 = 4,198	56,11
4	28,4	4,733 — 0,619 = 4,114	55,55
5	28,7	4,783 — 0,766 = 4,017	54,89
6	28,9	4,817 — 0,910 = 3,907	54,13
7	29,1	4,850 — 1,049 = 3,801	53,39
8	29,3	4,883 — 1,185 = 3,698	52,66
9	29,3	4,883 — 1,317 = 3,566	51,72
10	29,3	4,883 — 1,444 = 3,439	50,79
11	29,2	4,867 — 1,567 = 3,300	49,75
12	29,0	4,833 — 1,685 = 3,148	48,59
13	28,7	4,783 — 1,797 = 2,986	47,32
14	28,3	4,717 — 1,904 = 2,813	45,93
15	27,7	4,617 — 2,005 = 2,612	44,26

Aus diesem Beispiele ersieht man nunmehr, wie mittelst des hydrometrischen Pendels die Geschwindigkeiten des Wassers an der Oberfläche und in jeder Tiefe der Flüsse gemessen und berechnet werden. Eine umständlichere Anweisung hierüber findet man in den: Bemerkungen über das hydrometrische Pendel und über das Gesetz, nach welchem die Geschwindigkeiten des Wassers von der Oberfläche bis auf das Grundbett der Flüsse sich ändern, von *Franz Joseph Ritter v. Gerstner*, k. k. Professor und Direktor etc. mit einer Kupfertafel. In den Abhandlungen der k. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften. Prag 1819.

§. 232.

Die hydraulische Schnellwage des *Michelotti* dient ebenfalls dazu, die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche und in der Tiefe der Flüsse zu messen. Mit diesem Instrumente wird eigentlich der Stoss oder Druck des Wassers gewogen und hieraus die Geschwindigkeit berechnet. An einer schneidigen Stange ist eine Tafel befestigt, gegen welche das Wasser winkelrecht stösst. In A ist dieses Instrument senkrecht aufgehangen, und zwar kann die Stange durch den daselbst angebrachten horizontalen Hebel durchgeschoben und auf solche Art die Tafel höher oder niedriger gestellt werden. Auf der einen Seite dieses Hebels ist ein Gegengewicht, welches den Hebel in der horizontalen Lage erhält; auf der andern Seite desselben ist ein Laufgewicht P, wodurch der Druck des Wassers abgewogen und hieraus die Geschwindigkeit desselben berechnet wird.

Fig. 23. Tab. 54.

Es sey die Fläche der Tafel = F, so wird der Druck des Wassers auf dieselbe $56{,}4\ \text{m} \cdot F \cdot \frac{v^2}{4g}$ betragen, und im Zustande des Gleichgewichtes wird $56{,}4\ \text{m} \cdot F \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot BA = P \cdot AM$ seyn. Wenn man nun mit diesem Instrumente an der Oberfläche eines Wassers, wo die Geschwindigkeit C bereits bekannt ist, einen Versuch macht, so sey die Entfernung des Laufgewichtes = A O und wir erhalten $56{,}4\ \text{m} \cdot F \cdot \frac{C^2}{4g} \cdot BA = P \cdot AO$; werden nun diese zwei Gleichungen mit einander dividirt, so ergibt sich $\frac{v^2}{C^2} = \frac{AM}{AO}$ und hieraus die Geschwindigkeit des Wassers $v = C\sqrt{\frac{AM}{AO}}$. Da nun aus dem Versuche C und A O bekannt ist, so kann man für A M verschiedene Werthe annehmen, v berechnen und nunmehr eine Skale an dem Instrumente anbringen, wo für jede Entfernung des Laufgewichtes die zugehörigen Geschwindigkeiten beigesetzt sind. Hierbei wird jedoch vorausgesetzt, dass die Entfernung des Schwerpunktes der Tafel vom Umdrehungspunkte des Hebels oder B A immer dieselbe bleibe.

Dieses Instrument ist ohne Vergleich besser, als die Röhre des *Pitot*, es kann aber nur an der Oberfläche des Wassers mit Genauigkeit gebraucht werden, weil in der Tiefe das fliessende Wasser auch auf die Stange a b, die immer eine hinreichende Dicke haben muss, anstösst. Der Einfluss hiervon lässt sich auf folgende Art berechnen.

Wir wollen wieder die Geschwindigkeit, womit das Wasser auf den Schwerpunkt der Tafel wirkt = v und womit es auf den Schwerpunkt der Stange wirkt = c, dann die Entfernung des Umdrehungspunktes vom Schwerpunkte der Tafel = a und vom Schwerpunkte der Stange oder Latte = b′ nennen, endlich sey h die Tiefe der Tafel unter dem Wasserspiegel und b die Breite der Latte, dann x der Ausschlag für die Geschwindigkeit v. Fig. 23. Tab. 54.

Da bei allen diesen Gegenständen nur der Zustand der Ruhe zu betrachten ist, demnach der Druck an eine schneidige Latte eben so gross als an eine viereckige Latte von gleicher Dicke ist, so haben wir $P \cdot x = 56{,}4 \cdot m \cdot F \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot a + 56{,}4 \cdot m \cdot b \cdot h \cdot \frac{c^2}{4g} \cdot b'$. Wird mit diesem Instrumente ein Versuch an der Oberfläche des Wassers gemacht, wo die Geschwindigkeit C bekannt ist und die Entfernung an der Skale E gemessen wird, und nehmen wir weiters an, die Entfernung des Umdrehungspunktes vom Schwerpunkte der Tafel sey nunmehr = A, so erhält man für diesen Fall $P \cdot E = 56{,}4 \cdot m \cdot F \cdot \frac{C^2}{4g} \cdot A$. Werden diese zwei Gleichungen mitsammen dividirt, so ist $\frac{x}{E} = \frac{v^2}{C^2} \cdot \frac{a}{A} + \frac{b \cdot h}{F} \cdot \frac{c^2}{C^2} \cdot \frac{b'}{A}$. Nunmehr kann man die Berechnung der Geschwindigkeiten für verschiedene Tiefen auf ähnliche Art, wie es bei dem hydrometrischen Pendel gezeigt worden, vornehmen, und mit dem Instrumente in jeder Tiefe die Geschwindigkeit messen.

Allein bei diesem Instrumente wird es sehr schwierig, Geschwindigkeiten in einer Tiefe von 15, 20 oder mehr Fuss zu messen, weil dann die Stange ein grosses Gewicht erhält, und das Instrument wegen dem Uibergewicht des obern Theiles sehr schwer in die senkrechte, und der Hebel in die horizontale Lage zu bringen ist. Uiberdiess hat diese Stange eine weit grössere Dicke, als es bei dem Faden des Pendels der Fall ist.

§. 233.

Der Wasserhebel des *Lorgna* hat mit dem vorigen Instrumente einige Aehnlichkeit; er besteht nämlich aus einem Pfahle, der im Wasser in dem Grunde festgestellt wird, und woran rückwärts eine blecherne Röhre R D befestigt ist, an deren Ende sich eine Rolle bei D befindet. Durch die Röhre und über die Rolle geht ein Faden, an dessen Ende eine Kugel F, das andere Ende des Fadens aber bei E an dem kürzern Arme A E des Hebels befestigt ist, so dass, wenn der Strom die Kugel forttreibt, das Laufgewicht P an dem längern Hebelsarme mit dem Drucke des Wassers an die Kugel in das Gleichgewicht gebracht werden kann. Man sieht nun, dass der Zweck der blechernen Röhre darin besteht, den Stoss des Wassers auf den Faden zu verhindern. Fig. 1. Tab. 55.

Aus der Verschiebung des Laufgewichtes kann man die Geschwindigkeit des Wassers v berechnen; es wird nämlich $56{,}4 \cdot m \cdot F \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot AE = P \cdot OA$ seyn, und wenn man mit dem Instrumente an einem Orte an der Oberfläche des Wassers einen Versuch macht, wo die Geschwindigkeit bekannt ist, so erhalten wir

Fig. 1. Tab. 55. $56{,}4 . m . F \cdot \frac{C^2}{4g} \cdot AE = P . AQ$. Werden nun beide Gleichungen mitsammen dividirt, so ist abermals $\frac{v^2}{C^2} = \frac{AO}{AQ}$ und daher $v = C\sqrt{\frac{AO}{AQ}}$. Man kann nunmehr, wenn die Zahlen aus dem Versuche substituirt sind, für v verschiedene Werthe annehmen, und hieraus die Entfernung A O berechnen, welche nunmehr als Skale auf dem Instrumente aufgetragen wird.

Dieses Instrument hat dasselbe gegen sich, was wir schon bei dem vorigen bemerkten, dass nämlich die Manipulazion damit bei Versuchen äusserst schwierig ist. Wollte man damit auf verschiedenen Tiefen messen, so müsste die Röhre bald kürzer und bald länger genommen werden, überdiess müsste die Kugel hinlänglich weit vom Pfahle entfernt seyn, und eine gleiche spezifische Schwere mit dem Wasser erhalten, damit sie immer in der horizontalen Lage bleibt.

§. 234.

Fig. 2. Die Wasserfahne des Ximenes besteht aus einer Stange, welche unten auf der Seite ein Bret, oder die sogenannte Fahne befestigt hat. Die Stange dreht sich in Zapfen, welche sich in zwei Armen, die in einem Pfahle festgemacht sind, bewegen. An der Rolle A windet sich eine Schnur, welche über eine zweite Rolle B geht, und mit einer Wagschale in Verbindung steht. Taucht man nun das Instrument in ein fliessendes Wasser, und legt auf die Wagschale Gewichte auf, so wird die Fahne dem Wasser entgegengedreht, und diess geschieht so lange, bis die Fahne dem Drucke des Wassers perpendikulär entgegensteht.

Es sey wieder die Fläche der Fahne = F, ihre halbe Breite = b, der Halbmesser der an der Stange befestigten Rolle = a und die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers = v, so ist $56{,}4\ m \cdot F \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot b = p . a$ und wird das Instrument an die Oberfläche eines Wassers gestellt, wo die Geschwindigkeit bereits bekannt ist, so erhalten wir $56{,}4 . m . F \cdot \frac{C^2}{4g} \cdot b = P . a$. Werden beide Gleichungen durch einander dividirt, so ist $\frac{v^2}{C^2} = \frac{p}{P}$, woraus nun die jedesmalige Geschwindigkeit berechnet werden kann.

Bei diesem Instrumente tritt nun wieder die Schwierigkeit ein, dass wenn das Gewicht p zu gross ist, die Fahne sich zu weit herumdreht, es fordert daher sehr viele Mühe, das wahre Gewicht zu finden, und die Beobachtungen sind demnach immer mit einem bedeutenden Zeitaufwande verbunden. Uiberdiess hat das Instrument noch den Fehler, dass sowohl die Zapfen der Stange, an welchen die Fahne befestigt ist, als auch die Zapfen der Rolle eine Reibung haben, welche man zwar vermindern aber nie ganz beseitigen kann, und demnach die Geschwindigkeit ganz genau zu messen nicht im Stande ist.

§. 235.

Der Geschwindigkeitsmesser von *Brünings* oder sogenannte Tachometer besteht aus einer Tafel, welche dem Wasser abermals senkrecht entgegen gestellt

und der Druck desselben durch ein Gewicht an einer Wage mit gleichen Armen abgewogen wird. Man kann hierzu auch eine Schnellwage oder eine Wage mit Zeiger brauchen. Die Grösse der Tafel betrug bei den Messungen von *Brünings* einen Quadratfuss. Setzen wir sie $=$ F, so erhalten wir für eine gleicharmige Wage Fig. 3. Tab. 55.

$56{,}4 \,.\, m \,.\, F \cdot \frac{v^2}{4\,g} = p$ und wenn mit dem Instrumente an der Oberfläche des Wassers, wo die Geschwindigkeit bereits bekannt ist, ein Versuch gemacht wird, so ist

$56{,}4 \,.\, m \,.\, F \cdot \frac{C^2}{4\,g} = P$. Werden beide Gleichungen mit einander dividirt, so ist $\frac{v^2}{C^2} = \frac{p}{P}$, woraus wieder die jedesmalige Geschwindigkeit berechnet werden kann.

Dieses Instrument hat vor den früher angegebenen den wesentlichen Vortheil, dass man die Geschwindigkeit des Wassers in jeder Tiefe messen kann, und dass hierbei die Tafel dem Stosse des Wassers genau winkelrecht entgegensteht, endlich dass der Pfahl hierbei keinen Einfluss ausübt. Aus dieser Ursache sind auch keine verlässlichern und überdiess mit mehr Sorgfalt angestellten Geschwindigkeitsmessungen bekannt, als jene von *Brünings*.

Man findet inzwischen bei näherer Untersuchung derselben dennoch einige Ungleichheiten, welche darin ihren Grund haben, dass wenn p zu klein ist, die Tafel bis an den Pfahl zurück geht und es sehr schwer ist, sie im Gleichgewichte zu erhalten, wenigstens erfordert diess ausserordentlich viel Zeit. Während den Versuchen schwankt immer die Wage so stark, dass man das Gewicht p nie vollkommen genau bestimmen kann. Dieses Schwanken findet zwar bei andern Instrumenten, wie z. B. bei dem hydrometrischen Pendel auch Statt, allein es gewährt gerade dort den Vortheil, dass man die kleinste und grösste Geschwindigkeit der Wellenbewegung sogleich an der eingetheilten Skale erkennen und daher auch bestimmen kann, welches bei dem Tachometer unmöglich ist. Uiberdiess ist hier noch eine Reibung sowohl zwischen der Stange der Tafel und dem Pfahle bei x, als auch an der Rolle vorhanden, und beide Reibungen müssen erst von dem Stosse überwältigt werden. Da nun das Holz bei x nicht polirt werden kann und überdiess im Wasser anschwillt, so kann man die Reibung daselbst unmöglich beseitigen, das Holz wird aber ausserdem anquellen uud es muss ein hinreichender Spielraum bleiben, welcher wieder verursacht, dass die Tafel sich verwenden kann und dann der Fläche des Wassers nicht volkommen winkelrecht entgegensteht.

§. 236.

Der hydrometrische Flügel von *Woltmann* besteht aus zwei kleinen blechernen Flügeln, die so wie die Flügel einer Windmühle gestellt und dem Stosse des Wassers entgegen gehalten werden, um ihre Umdrehungen in einer bestimmten Zeit zu zählen. Diese Flügel drehen sich nämlich mit einer Achse, an welcher sich eine Schraube ohne Ende befindet. In diese Schraube greift ein gezähntes Rad ein, dessen Achsen in einem kleinen Rahmen laufen, der oben an dem Instrumente mit einer Schnur angezogen oder ausgelassen werden kann. Im gewöhnlichen Zustande greift das gezähnte Rad in die Schraube ohne Ende nicht ein und erst wenn man zu messen anfangen will, zieht man die Schnur an, und es fällt nun die Schraube ohne Ende in das Fig. 4.

Fig. 4. Tab. 55. gezähnte Rad ein. Ist eine bestimmte Zeit verflossen, so lässt man das gezähnte Rad wieder fallen, der Eingriff hört auf und man erkennt nun die Anzahl der Umdrehungen, welche während der Beobachtung Statt hatten, aus der Anzahl der Zähne, welche von der Schraube ohne Ende fortgeschoben wurden. Das Instrument wird abermals an einem Orte an der Oberfläche des Wassers versucht, wo die Geschwindigkeit bereits bekannt ist; gesetzt, es seyen hierbei n Umdrehungen in einer Minute. Braucht man nun das Instrument an einem andern Orte, wo 2, 3, 4 mal mehr Umdrehungen in einer Minute Statt finden, so ist offenbar, dass die Geschwindigkeit daselbst auch 2, 3, 4 mal grösser sey; hierbei hat man nur zu beobachten, dass die Stellung der Flügel bei beiden Messungen dieselbe sey.

Bei diesem Instrumente ist zu bemerken, dass es so tief in das Wasser kommen muss, als der Durchmesser der beiden Arme, woran die Flügel befestigt sind; diess beträgt beiläufig 10 Zoll. Um es zu adjustiren, müsste man nun auch die Geschwindigkeit des Wassers von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 10 Zoll auf anderm Wege ausmitteln. Diess würde man zwar nach dem oben angeführten Vorschlage von *Manfredi* durch Ziehung dieses Instrumentes mittelst einer angemessenen Vorrichtung an der Oberfläche des Wassers bewerkstelligen können; da jedoch diess zu viele Schwierigkeiten macht, so hat *Woltmann* selbst vorgeschlagen, dass man hiermit nur an einem ruhigen Wasser z. B. auf dem Damme eines Teiches gehen, das Instrument in das Wasser halten und die Geschwindigkeit des Gehens bestimmen soll; auch meinte er, dass man diess in der Luft durch Uibersichhalten bei dem Gehen thun könne. Da jedoch die Luft eine andere spezifische Schwere als das Wasser hat, so würde hierbei nebst der Reibung an den Achsen auch dieser Umstand zu berücksichtigen seyn.

Das hydrometrische Pendel dürfte demnach unter allen angeführten Instrumenten als das genaueste angesehen werden, da bei demselben keine ähnlichen Anstände, wie wir sie bei allen andern Instrumenten kennen gelernt haben, vorkommen und die Beobachtungen selbst mit der grössten Einfachheit und Leichtigkeit angestellt werden.

§. 237.

Wir haben bereits früher bemerkt, dass die Geschwindigkeiten des Wassers an der Oberfläche und am Grundbett der Flüsse nicht gleich, sondern in regulären Flüssen bei ruhigem Wasserstande gewöhnlich an der Oberfläche grösser und am Grundbett kleiner, jedoch zuweilen auch an der Oberfläche kleiner gefunden worden sind. Da die Bestimmung der Wassermenge, welche ein Fluss abführt, wesentlich von der Geschwindigkeit abhängt, so ist es von Wichtigkeit, das Gesetz zu kennen, nach welchem sich die Geschwindigkeiten vom Wasserspiegel bis zum Grundbett gewöhnlich zu ändern pflegen. Mehrere Schriftsteller haben sich in dieser Hinsicht bemüht, eine Geschwindigkeitsskale aufzustellen, um wo möglich aus der Geschwindigkeit an der Oberfläche die mittlere für die vorhandene Tiefe und hiernach die Wassermenge, welche in jeder vertikalen Abtheilung des Flusses abfliesst, bestimmen zu können. Da dieses nur durch genaue Beobachtungen, vorzüglich in grössern Flüssen geschehen kann, so führen wir hierüber nachstehende Versuche an, welche auch Herr *Eytelwein* als verlässig ange-

geben hat. Der Versuch I ist von dem Abt *Ximenes* im *Arno*, die Versuche II bis VI von *Brünings* am *Rhein* und der *Waal* vorgenommen worden. Sämmtliche Versuche sind auf Rheinländer Mass reduzirt, wobei 100 *Soldi* = 15,458 Rheinl. Fuss; sie befinden sich in folgenden Werken: „*Brünings* Abhandlung über die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers, und von den Mitteln, dieselbe auf allen Tiefen zu bestimmen; aus dem Holländischen übersetzt von *Krönke*, mit einer Vorrede von *Wiebeking*. Frankfurt a. M. 1798" und „*Ximenes Nuove sperienze Jdrauliche, fatte ne' Canali e ne' Fiumi per verificare le principali leggi e fenomini delle acque correnti. Siena* 1780."

Um aus diesen Versuchen ein Gesetz abzuleiten, setzen wir wie Seite 322 gezeigt wird $\frac{v^2}{4g} = A - B \cdot x - C \cdot x^2$, wo $\frac{v^2}{4g} = \frac{v^2}{4 \cdot 15^5/_8 \cdot 12} = \frac{v^2}{750}$ Rheinl. Zolle die Geschwindigkeitshöhe, und x die Tiefe an demselben Orte bezeichnet. Wird nun aus den in der nachfolgenden Tabelle I enthaltenen Werthen von v die zugehörige Geschwindigkeitshöhe berechnet, so entstehen aus den ersten 15 Beobachtungen folgende Gleichungen:

$$1{,}9659 = A - B \,.\, 1{,}932 - C \,.\, 3{,}7326$$
$$1{,}9150 = A - B \,.\, 2{,}898 - C \,.\, 8{,}3984$$
$$1{,}8572 = A - B \,.\, 3{,}865 - C \,.\, 14{,}9382$$
$$1{,}8535 = A - B \,.\, 4{,}831 - C \,.\, 23{,}3386$$
$$1{,}7481 = A - B \,.\, 5{,}797 - C \,.\, 33{,}6052$$
$$1{,}7518 = A - B \,.\, 6{,}763 - C \,.\, 45{,}7382$$
$$1{,}7333 = A - B \,.\, 7{,}729 - C \,.\, 59{,}7374$$
$$1{,}7370 = A - B \,.\, 8{,}695 - C \,.\, 75{,}6030$$
$$1{,}7333 = A - B \,.\, 9{,}661 - C \,.\, 93{,}3349$$
$$1{,}6315 = A - B \,.\, 10{,}627 - C \,.\, 112{,}9331$$
$$1{,}6315 = A - B \,.\, 11{,}594 - C \,.\, 134{,}4208$$
$$1{,}5571 = A - B \,.\, 12{,}560 - C \,.\, 157{,}7536$$
$$1{,}5016 = A - B \,.\, 13{,}526 - C \,.\, 182{,}9527$$
$$1{,}4607 = A - B \,.\, 14{,}492 - C \,.\, 210{,}0181$$
$$1{,}4136 = A - B \,.\, 15{,}458 - C \,.\, 238{,}9498.$$

Werden je fünf und fünf Gleichungen addirt, so erhalten wir:

$$9{,}3397 = 5\,A - 19{,}323\,B - 84{,}0130\,C$$
$$8{,}5869 = 5\,A - 43{,}475\,B - 387{,}3466\,C$$
$$7{,}5645 = 5\,A - 67{,}630\,B - 924{,}0950\,C,$$

Die Subtrakzion dieser Gleichungen von einander gibt

$$0{,}7528 = 24{,}152\,B + 303{,}3336\,C$$
$$1{,}0224 = 24{,}155\,B + 536{,}7484\,C$$

Hieraus folgt $C = 0{,}00116$.

Die Addizion der letzten zwei Gleichungen gibt $1{,}7752 = 48{,}307\,B + 840{,}0320\,C$ und wird der Werth für C substituirt, so folgt $B = 0{,}01657$. Werden endlich alle obigen 15 Gleichungen addirt, so ist $25{,}4911 = 15\,A - 130{,}423\,B - 1395{,}4546\,C$, woraus nach Substituzion der Werthe für B und C die beständige Grösse $A = 1{,}95140$ folgt. Die Geschwindigkeitsskale für diesen Versuch ergibt sich daher aus der Gleichung

$\frac{v^2}{4g} = 1{,}95140 - 0{,}01657\,x - 0{,}00116\,x^2$ oder $v^2 = -0{,}00116 \,.\, 4g\,(-1682{,}241 + 14{,}234\,x + x^2)$.

Setzen wir um die erste Potenz der veränderlichen Tiefe $DE = x$ aus der Gleichung zu eliminiren $x = z - 7{,}142 = CE - CD$, so erhalten wir die Gleichung $v^2 = 0{,}00116 \,.\, 4g\,(1733{,}249 - z^2)$, welche offenbar mit der bekannten Gleichung für die Ellypse $y^2 = \frac{b^2}{a^2}(a^2 - x^2)$ übereinstimmt. Es ist also für die angeführten Messungen die Geschwindigkeitsskale eine Ellypse, in welcher die Wassertiefen durch die senkrechten Linien CE, CE', CE''.... die zugehörigen Geschwindigkeiten v aber durch die wagrecht liegenden Ordinaten EF, $E'F'$, $E''F''$.... gemessen werden, und deren Mittelpunkt C um 7,142 Fuss über der Wasseroberfläche DGO liegt. Setzen wir in der obigen Gleichung die Abscisse $z = 0$, so finden wir die grösste Ordinate v oder die halbe kleinere Achse $CB = \sqrt{750 \,.\, 0{,}00116 \,.\, 1733{,}249} = 38{,}33$ Zoll $= 3{,}24$ Fuss; und wird die Ordinate $v = 0$ gesetzt, so ergibt sich die halbe grössere Achse $CA = \sqrt{1733{,}249} = 41{,}63$ Fuss. Der Scheitel A der Ellypse liegt also $41{,}63 - 7{,}14 = 34{,}49$ Fuss unter der Oberfläche des Wassers. Nachstehende Tabelle enthält die Resultate der obengenannten Versuche.

Fig. 5. Tab. 55.

I. Versuch von *Ximenes* am *Arno*.

Tiefe unter der Oberfläche des *Arno*flusses x		Beobachtete Geschwindigkeit v	Hieraus berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g} = h$	Nach der Formel berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g} = h'$	Differenz beider $h - h'$.
Soldi.	Rheinl. Fuss.	Rheinländer Zolle.			
12,50	1,932	38,393	1,9659	1,9151	+ 0,0503
18,75	2,898	37,898	1,9150	1,8936	+ 0,0214
25,00	3,865	37,322	1,8572	1,8700	— 0,0128
31,25	4,831	37,284	1,8535	1,8443	+ 0,0092
37,50	5,797	36,209	1,7481	1,8164	— 0,0683
43,75	6,763	36,247	1,7518	1,7863	— 0,0345
50,00	7,729	36,055	1,7333	1,7540	— 0,0207
56,25	8,695	36,094	1,7370	1,7196	+ 0,0174
62,50	9,661	36,055	1,7333	1,6831	+ 0,0502
68,75	10,627	34,980	1,6315	1,6443	— 0,0128
75,00	11,594	34,980	1,6315	1,6034	+ 0,0231
81,25	12,560	34,174	1,5571	1,5603	— 0,0032
87,50	13,526	33,559	1,5016	1,5150	— 0,0134
93,75	14,492	33,099	1,4607	1,4677	— 0,0070
100,00	15,458	32,561	1,4136	1,4181	— 0,0045

II. Versuch am Oberrhein von *Brünings.*

Tiefe unter der Oberfläche x	Beobachtete Geschwindigkeit v	Hieraus berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h$.	Nach der Formel berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h'$	Differenz beider h — h'.
Rheinl. Fuss.	Rheinländer Zoll.			
1	41,92	2,3430	2,3504	— 0,0074
2	42,78	2,4402	2,3502	+ 0,0900
3	41,04	2,2457	2,3283	— 0,0826
4	40,13	2,1472	2,2848	— 0,1376
5	41,92	2,3430	2,2196	+ 0,1234
6	40,13	2,1472	2,1329	+ 0,0143
7	39,21	2,0499	2,0245	+ 0,0254
8	37,30	1,8551	1,8945	— 0,0394
9	36,30	1,7569	1,7429	+ 0,0140

Die Gleichung für die Geschwindigkeitsskale ist

$$\frac{v^2}{4g} = 2{,}32909 + 0{,}03216\,x - 0{,}01081\,x^2$$

oder $v^2 =$

$$-0{,}01081 \cdot 4g\,(-215{,}457 - 2{,}975\,x + x^2)$$

Setzen wir hierin $x = z + 1{,}4875$, so erhalten wir

$$v^2 = 0{,}01081\,.\,4g\,(217{,}670 - z^2)$$

also abermals eine Ellypse, deren Mittelpunkt 1,49 Fuss unter der Wasseroberfläche liegt. Wird hierin $z = 0$ gesetzt, so findet man die halbe kleine Achse und zugleich die grösste Geschwindigkeit $v = 41{,}95$ Zoll $= 3{,}50$ Fuss; für $v = 0$ ergibt sich die halbe grössere Achse $z = \sqrt{217{,}67} = 14{,}75$ Fuss, und der Scheitel der Ellypse liegt $1{,}49 + 14{,}75 = 16{,}24$ Fuss unter der Wasseroberfläche.

III. Versuch am Oberrhein von *Brünings.*

Tiefe unter der Oberfläche x	Beobachtete Geschwindigkeit v	Hieraus berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h$.	Nach der Formel berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h'$	Differenz beider h — h'.
Rheinl. Fuss.	Rheinländer Zoll.			
1	56,11	4,1978	4,0004	+ 0,1974
2	53,44	3,8078	4,0381	— 0,2303
3	54,79	4,0026	4,0490	— 0,0464
4	55,45	4,0996	4,0330	+ 0,0666
5	54,79	4,0026	3,9902	+ 0,0124
6	52,75	3,7101	3,9206	— 0,2105
7	54,12	3,9053	3,8242	+ 0,0811
8	52,05	3,6123	3,7009	— 0,0886
9	52,05	3,6123	3,5508	+ 0,0615
10	51,46	3,5308	3,3740	+ 0,1568
11	46,87	2,9291	3,1702	— 0,2411
12	44,46	2,6356	2,9397	— 0,3041
13	46,87	2,9291	2,6824	+ 0,2467
14	43,63	2,5381	2,3982	+ 0,1399
15	41,04	2,2457	2,0872	+ 0,1585

Die Gleichung für die Geschwindigkeitsskale ist

$$\frac{v^2}{4g} = 3{,}93595 + 0{,}07790\,x - 0{,}01341\,x^2$$

oder $v^2 =$

$$-0{,}01341\,.\,4g\,(-293{,}509 - 5{,}809\,x + x^2).$$

Setzen wir hierin $x = z + 2{,}9045$ so erhalten wir

$$v^2 = 0{,}01341\,.\,4g\,(301{,}945 - z^2)$$

also abermals eine Ellypse, deren Mittelpunkt 2,90 Fuss unter der Oberfläche des Wassers liegt.

Wird hierin $z = 0$ gesetzt, so findet man die halbe kleinere Achse und zugleich die grösste Geschwindigkeit $v = 55{,}11$ Zoll $= 4{,}59$ Fuss; für $v = 0$ ergibt sich die halbe grössere Achse

$z = \sqrt{301{,}945} = 17{,}38$ Fuss, und der Scheitel der Ellypse liegt

$2{,}90 + 17{,}38 = 20{,}28$ Fuss unter der Oberfläche des Wassers.

IV. Versuch am Niederrhein von *Brünings.*

Tiefe unter der Oberfläche x	Beobachtete Geschwindigkeit v	Hieraus berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h$	Nach der Formel berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h'$	Differenz beider $h-h'$.
Rheinl. Fuss	Rheinländer Zoll.			
1	54,79	4,0026	3,7925	+ 0,2101
2	55,45	4,0996	3,8522	+ 0,2474
3	51,46	3,5308	3,8897	— 0,3589
4	53,43	3,8064	3,9049	— 0,0985
5	54,12	3,9053	3,8979	+ 0,0074
6	54,12	3,9053	3,8686	+ 0,0367
7	53,43	3,8064	3,8171	— 0,0107
8	52,75	3,7101	3,7434	— 0,0333
9	53,43	3,8064	3,6474	+ 0,1590
10	51,46	3,5308	3,5292	+ 0,0016
11	49,98	3,3307	3,3887	— 0,0580
12	48,40	3,1234	3,2260	— 0,1026

Die Gleichung für die Geschwindigkeitsskale ist

$$\frac{v^2}{4g} = 3{,}71059 + 0{,}09306\,x - 0{,}01112\,x^2$$

oder $v^2 =$

$$-\,0{,}01112 \cdot 4g\,(-333{,}686 - 8{,}369\,x + x^2).$$

Setzen wir hierin $x = z + 4{,}1845$, so erhalten wir

$$v^2 = 0{,}01112 \,.\, 4g\,(351{,}196 - z^2)$$

also abermals eine Ellypse, deren Mittelpunkt 4,18 Fuss unter der Oberfläche des Wassers liegt.

Wird hierin $z = 0$ gesetzt, so findet man die halbe kleine Achse und zugleich die grösste Geschwindigkeit $v = 54{,}12$ Zoll $= 4{,}51$ Fuss; für $v = 0$ ergibt sich die halbe grössere Achse $z = \sqrt{351{,}196} = 18{,}74$ Fuss, und der Scheitel der Ellypse liegt $4{,}18 + 18{,}74 = 22{,}92$ Fuss unter der Oberfläche des Wassers.

V. Versuch an der Waal von *Brünings.*

Tiefe unter der Oberfläche x	Beobachtete Geschwindigkeit v	Hieraus berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h$	Nach der Formel berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}=h'$	Differenz beider $h-h'$.
Rheinl. Fuss.	Rheinländer Zoll.			
1	46,87	2,9291	2,8861	+ 0,0430
2	46,08	2,8312	2,8981	— 0,0669
3	46,46	2,8780	2,8950	— 0,0170
4	46,87	2,9291	2,8766	+ 0,0525
5	46,08	2,8312	2,8430	— 0,0118
6	46,08	2,8312	2,7942	+ 0,0370
7	44,46	2,6356	2,7301	— 0,0945
8	43,63	2,5381	2,6509	— 0,1128
9	43,63	2,5381	2,5564	— 0,0183
10	44,46	2,6356	2,4467	+ 0,1889
11	42,78	2,4402	2,3218	+ 0,1184
12	41,04	2,2457	2,1816	+ 0,0641
13	38,27	1,9528	2,0263	— 0,0735
14	36,30	1,7569	1,8557	— 0,0988
15	35,28	1,6596	1,6699	— 0,0103

Die Gleichung für die Geschwindigkeitsskale ist

$$\frac{v^2}{4g} = 2{,}85880 + 0{,}03489\,x - 0{,}00761\,x^2$$

oder $v^2 =$

$$-\,0{,}00761 \cdot 4g\,(-375{,}664 - 4{,}585\,x + x^2).$$

Setzen wir hierin $x = z + 2{,}2925$, so erhalten wir

$$v^2 = 0{,}00761 \cdot 4g\,(380{,}920 - z^2)$$

also abermals eine Ellypse, deren Mittelpunkt 2,29 Fuss unter der Oberfläche des Wassers liegt.

Wird hierin $z = 0$ gesetzt, so findet man die halbe kleinere Achse und zugleich die grösste Geschwindigkeit $v = 46{,}63$ Zoll $= 3{,}89$ Fuss; für $v = 0$ ergibt sich die halbe grössere Achse $z = \sqrt{380{,}920} = 19{,}52$ Fuss, und der Scheitel der Ellypse liegt $2{,}29 + 19{,}52 = 21{,}31$ Fuss unter der Oberfläche des Wassers.

VI. Versuch am Niederrhein *von Brünings.*

Tiefe unter der Oberfläche x	Beobachtete Geschwindigkeit v	Hieraus berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g} = h$	Nach der Formel berechnete Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g} = h'$	Differenz beider $h - h'$
Rheinl. Fuss.	Rheinländer Zoll.			
1	56,76	4,2956	4,0131	+ 0,2825
2	55,45	4,0996	4,0682	+ 0,0314
3	54,12	3,9053	4,0675	— 0,1622
4	54,12	3,9053	4,0410	— 0,1357
5	54,79	4,0026	3,9887	+ 0,0139
6	52,75	3,7101	3,9106	— 0,2005
7	52,75	3,7101	3,8067	— 0,0966
8	54,79	4,0026	3,6770	+ 0,3256
9	50,62	3,4165	3,5215	— 0,1050
10	50,62	3,4165	3,3402	+ 0,0763
11	46,08	2,8312	3,1331	— 0,3019
12	45,28	2,7337	2,9002	— 0,1665
13	44,46	2,6356	2,6415	— 0,0059
14	46,08	2,8312	2,3570	+ 0,4742

Die Gleichung für die Geschwindigkeitsskale ist

$$\frac{v^2}{4g} = 3{,}99217 + 0{,}06380\ x - 0{,}01290\ x^2$$

oder $v^2 =$

$$-0{,}01290 \cdot 4g\,(-309{,}471 - 4{,}946\ x + x^2).$$

Setzen wir hierin $x = z + 2{,}473$, so erhalten wir

$v^2 = 0{,}01290 \cdot 4\ g\ (315{,}587 - z^2)$ also abermals eine Ellypse, deren Mittelpunkt 2,47 Fuss unter der Oberfläche des Wassers liegt.

Wird hierin $z = 0$ gesetzt, so findet man die halbe kleinere Achse und zugleich die grösste Geschwindigkeit $v = 55{,}26$ Zoll $= 4{,}61$ Fuss; für $v = 0$ ergibt sich die halbe grössere Achse $z = \sqrt{315{,}587} = 17{,}76$ Fuss, und der Scheitel der Ellypse liegt $2{,}47 + 17{,}76 = 20{,}23$ Fuss unter der Oberfläche des Wassers.

§. 238.

Die angeführten Versuche zeigen, dass die Geschwindigkeiten des Wassers in einem Flusse dem Gesetze der Ordinaten einer Ellypse folgen, wobei aber sowohl die Hauptabmessungen der Ellypse, nämlich die grosse und kleine Achse, als auch der tiefere oder höhere Stand der Ellypse sehr verschieden ist. Die Gründe hiervon lassen sich nach den allgemeinen Gesetzen der Physik auf folgende Art erklären.

Es ist bekannt, dass nicht nur das Wasser, sondern auch die Oehle, Talg, Wachs und die meisten Metalle, wenn sie hinlänglich erhitzt sind, flüssig werden, und in dieser Hinsicht die allgemeinen Gesetze der Hydrostatik befolgen. Ungeachtet dieser Uibereinstimmung in hydrostatischer Hinsicht sehen wir doch bei allen diesen Körpern verschiedene Grade von Flüssigkeit, indem einige eine grössere, andere eine kleinere Zähigkeit an Tag legen, einige bei dem Herabfallen Tropfen bilden, andere aber nur zusammenhängend herabfliessen; selbst das Wasser hat keine beständige Flüssigkeit, indem selbe nach unsern angeführten Versuchen von der Temperatur abhängt, u. s. w. Der vorhandene Grad von Zähigkeit äussert sich vorzüglich bei der Bewegung der flüssigen Körper. Werden alle Theile des Wassers mit einerlei Geschwindigkeit bewegt, so finden dieselben Gesetze der gleichen Bewegung wie bei den festen Körpern Statt, weil keine Theile getrennt werden, wenn aber z. B. das Wasser aus einem Gefässe durch eine Oeffnung ausfliesst, so werden die ausfliessenden Wassertheile von den innern ruhig bleibenden

abgezogen oder getrennt. Da hierzu eine besondere Kraft wegen der Zähigkeit des Wassers erfordert wird, so ist es begreiflich, warum ein senkrecht aufsteigender Wasserstrahl schon aus diesem Grunde sich nicht bis zur Höhe des Wasserspiegels im Gefässe erheben könne. In einer Flusstrecke, wo eine gleichförmige Bewegung Statt findet, werden zwar alle Theile des Wassers, da sie über dieselbe schiefe Fläche herablaufen, von der Schwerkraft auf gleiche Art beschleunigt, jedoch finden die untern Wassertheile durch ihre Adhäsion oder Reibung am ruhigen Boden einen grössern Widerstand als die obern, welche nur von dem darunter befindlichen etwas langsamern Wasser angehalten werden. Der Widerstand der höher fliessenden Wassertheile kann demnach nur von der Differenz der Geschwindigkeiten von einer Schichte zur andern bestimmt werden. Da aber überhaupt die Wirkungen des Wassers den Geschwindigkeitshöhen proporzional sind, so kann auch hier die Wirksamkeit der Wassertheile gegen einander nur aus der Differenz der Geschwindigkeitshöhen erkannt werden. Diese Differenz wird um so grösser, je höher die Wassertheile über einander liegen; wenn aber die Wirksamkeit der Wassertheile unter einander überall gleich ist, so muss sich die Geschwindigkeitsskale aus der Gleichung $y = A - B.x$ ableiten lassen *).

Nun entsteht aber die Frage, ob die Wirksamkeit des Wassers in allen Punkten durch die ganze Höhe gleich angenommen werden könne. Seiner Natur nach drückt das Wasser in einem Flusse auf die darunter befindlichen Theile, so dass die untern Theile mehr an einander gedrückt werden als die obern. Wenn also zwischen den Wassertheilen eine Art Reibung Statt findet, so wird diese in den untern Schichten durch einen grössern Druck als in den obern bewirkt, und daher auch grösser seyn müssen. Hieraus folgt für die Geschwindigkeitsskale $y = A - B.x - C.x^2$ **).

Diese Ansicht wird noch dadurch mehr bestätigt, weil durch das Wasser am Boden die schlammigen Theile des Flussbettes aufgerührt werden, folglich die untern Wasserschichten mehr Schlamm und feinen Sand als die obern fortführen. Auch die Erfahrung beweist diess hinlänglich, indem bei hohen Wässern Steine in Bewegung gesetzt werden, die bei niedrigem Wasser im Flusse ruhig liegen bleiben; von hohen Wässern wird der Sand und Schlamm auf dem Grundbette aufgewühlt, die Wässer werden demnach bei hohem Stande trüber und dagegen bei abfallendem Wasser wieder heller. Hieraus ist der Grund ersichtlich, warum wir zur Bestimmung der Geschwindigkeitsskale bei den obigen Versuchen die Gleichung $y = \frac{v^2}{4g} = A - B.x - C.x^2$ angenommen haben. Die hiernach berechneten Geschwindigkeitshöhen stimmen mit den beobachteten sehr genau überein, da die positiven und negativen Differenzen sich ganz ausgleichen. Man sieht

*) Der Quozient $-\frac{dy}{dx}$ welcher die Verminderung der Geschwindigkeitshöhe von der Oberfläche abwärts ausdrückt, muss eine beständige Grösse seyn, wenn die Wirksamkeit der Wassertheile unter einander überall gleich ist; setzen wir diese $= B$, so ist $-\frac{dy}{dx} = B$, woraus die Gleichung $y = A - B.x$ folgt.

**) Wenn die Reibung an den untern Theilen grösser als an den obern ist, so müssen wir statt B die Grösse $B + D.x$ setzen. Dadurch erhalten wir die Gleichung $-\frac{dy}{dx} = B + D.x$, woraus $y = A - B.x - C.x^2$ folgt, wenn $\frac{1}{2} D = C$ ist.

aber aus den Differenzen selbst, dass die Versuche von *Brünings*, obgleich mit sehr vielem Fleisse angestellt, dennoch bei dem Gebrauche eines bessern Instrumentes eben so nahe übereingestimmt und keine grössern Differenzen, als die Versuche des *Ximenes* am *Arno* gezeigt haben würden. Alle Geschwindigkeitsmesser, bei denen eine Abwägung Statt findet, unterliegen dem Umstande, dass die Wagen, wenn sie bei der Veränderlichkeit der Geschwindigkeit oder den fortwährenden Spielungen des Wassers nicht überschlagen sollen, weniger empfindlich gemacht werden müssen und dass man unter diesen Umständen das eigentliche Gewicht für die Wage vielmehr errathen, als genau beurtheilen könne. Das Pendel hingegen gewährt dem Beobachter die Freiheit, dass man den Spielungen ruhig zusehen und die mittlere Abweichung des Fadens genau bestimmen kann. Selbst diese Spielungen zeigen, dass das Wasser in solchen Fällen nicht immer mit gleicher Geschwindigkeit, sondern wellenartig bald schneller und bald langsamer an denselben Punkten fliessen müsse.

Aus den angeführten Berechnungen folgt, dass bei den Beobachtungen am *Arno* der Mittelpunkt der Ellypse über der Oberfläche des Wassers, dagegen bei den Versuchen von *Brünings* am *Rhein* und der *Waal* durchaus unter dem Wasserspiegel liege. Hierüber glaubte man zwar die Erklärung zu geben, dass das Wasser an der Oberfläche von einem entgegenstehenden Luftzuge in seiner Bewegung aufgehalten, folglich an der Oberfläche langsamer als auf einer geringern Tiefe unter derselben fliessen könne. Man darf aber annehmen, dass *Brünings* diese Versuche nicht bei heftigen Winden vorgenommen habe, wo die Wellenbewegung einen nachtheiligen Einfluss ausgeübt haben würde, dann müsste auch dieser Umstand die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche in einigen Fällen vergrössert und in andern wieder verkleinert haben. Wir glauben, dass die Ursache hiervon nur in der Beschaffenheit des Instrumentes und zwar darin liege, weil das Wasser in der Tiefe über alle vier Seiten der Tafel beinahe mit gleicher Kraft abgetrieben werden musste, wogegen in der Höhe oder an der Oberfläche des Wassers der Trieb für die obere Seite ganz entfällt und in einer geringern Tiefe auch kleiner ist, als in einer grössern. Da nun dieser Trieb von der Wage gewogen wurde, so sieht man leicht, dass an der Oberfläche ein geringeres Gewicht gefunden, folglich auf eine geringere Geschwindigkeit geschlossen werden musste, als es wirklich der Fall war.

Da überhaupt die Beschaffenheit des Wassers nicht zu allen Zeiten gleich ist, indem es bald mehr, bald minder trübe erscheint, und da auch bei hellem Wasser doch die Verschiedenheit der Farbe eine verschiedene Beschaffenheit desselben offenbar andeutet, so ergibt sich von selbst, dass man auch keine allgemeine Regel für die Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers von der Oberfläche bis zum Boden der Flüsse fest setzen, sondern sich hierbei nur entweder mit einer beiläufigen Annäherung begnügen, oder zur genauern Erreichung seines Zweckes unmittelbare Messungen vornehmen müsse.

§. 239.

Nach diesen Vorkenntnissen wird es uns leicht seyn, die **Wassermenge** zu bestimmen, welche ein Fluss abführt. Sind die Geschwindigkeiten auf gleichen Entfernungen von einander von der Oberfläche bis zur Tiefe gemessen worden, wie z. B. bei den Vermessungen von *Brünings* die Geschwindigkeit von Fuss zu Fuss in der Tiefe herabgemessen

wurde, so darf man nur die verschiedenen Geschwindigkeiten addiren und mit der Anzahl der Beobachtungen dividiren, um die mittlere Geschwindigkeit in der ganzen Vertikallinie zu erhalten. Hiernach lässt sich nun auch die ganze Wassermenge bestimmen, welche ein Fluss abführt.

Man zerlegt nämlich das Querprofil dieses Flusses in mehrere kleinere Theile, misst und berechnet in jedem solchen Theile die abfliessende Wassermenge und bestimmt aus
Fig. 6. Tab. 55. der Summirung das ganze Wasserquantum, welches der Fluss abführt. Ist Fig. 6 das Querprofil eines Flusses und ABCD ein Theil desselben, in dessen Mitte, nämlich in der Linie st die Geschwindigkeiten von Fuss zu Fuss oder allgemein in der Entfernung h von einander gemessen wurden. Setzen wir die Breite dieses Profiltheiles AB = B
Fig. 7. und tragen die Geschwindigkeiten, welche in der Linie st gemessen wurden, Fig. 7 auf, so ergibt sich die Figur amrf, welche mit B multiplizirt den kubischen Inhalt des Wassers in dem Profiltheile ABCD geben wird. Wir erhalten nämlich, wenn wir die einzelnen Wassermengen mit w, w′, w″ bezeichnen, die Gleichungen:

$\left(\frac{am + bn}{2}\right) h.B = w$, dann $\left(\frac{bn + co}{2}\right) h.B = w'$, ferner $\left(\frac{co + dp}{2}\right) h.B = w''$, ferner $\left(\frac{dp + eq}{2}\right) h.B = w'''$, endlich $\left(\frac{eq + fr}{2}\right) h.B = w''''$. Werden diese Gleichungen addirt, so ist $\left(\frac{am}{2} + bn + co + dp + eq + \frac{fr}{2}\right) h.B = w + w' + w'' + \dots = W.$

Man erhält nämlich den kubischen Inhalt des Wassers, welches durch den Profiltheil ABCD fliesst, indem man in der Mitte desselben, nämlich in der Linie st von Fuss zu Fuss oder in gleicher Entfernung h die verschiedenen Geschwindigkeiten misst, sodann die Hälfte der ersten und letzten Geschwindigkeit zu der Summe aller andern Geschwindigkeiten addirt, und die hierdurch erhaltene Totalsumme mit dem Abstande h, in welchem die Geschwindigkeiten gemessen wurden, und mit der Breite B des Profiltheiles multiplizirt. Die Summe aller Wassermengen der einzelnen Profiltheile gibt die ganze Wassermenge, welche der Fluss abführt. Wären jedoch die Abstände h nicht einander gleich, so müsste die Wassermenge, welche durch ambn, bnco abfliesst, theilweise berechnet und hieraus die Wassermenge des ganzen Profiltheiles ABCD und jene des ganzen Flusses bestimmt werden.

§. 240.

Die Bestimmung der Geschwindigkeit des Wassers in einem Flusse ist bei den meisten Wasserbauten von grösster Wichtigkeit. Das Wasser greift nämlich immer die leichten, z. B. sandigen oder kleinschotterigen Grundstücke an und führt die abgerissenen Theile, nämlich das Erdreich, den Sand und Schotter so lange mit sich fort, bis es an irgend einem Orte keine so grosse Geschwindigkeit mehr hat, dieses Materiale fortzutragen, es setzt nun dasselbe ab und bildet auf diese Art Untiefen oder Sandbänke.

So schädlich diese Eigenschaft des Wassers in vielen Fällen ist, indem hierdurch Uferbeschädigungen, Serpentinen u. s. w. veranlasst werden, so wird doch auch dieselbe im Gegentheile manchmal wieder zweckmässig angewendet. Soll z. B. die Ser-
Fig. 8. pentine ABC abgeschnitten (*coupirt*) und zu diesem Behufe die *Cunette* AC angelegt

werden, so erhält dieselbe nicht das Normalprofil des Flusses in der Serpentine, weil eine so grosse Ausgrabung zu viel Unkosten verursachen würde. Man gräbt desshalb die *Cunette* AC mit einem kleinern Profile aus und überlässt die Erweiterung derselben der Kraft des Wassers; diese Erweiterung wird nämlich dann eintreten, wenn das Wasser in AC eine solche Geschwindigkeit erhält, um das Materiale des Grundbettes anzugreifen und fortzuführen. Um diess zu beurtheilen, muss die Geschwindigkeit in der *Cunette* AC, welche dasselbe Gefälle wie die Serpentine ABC hat, vor Anlegung derselben durch Rechnung bestimmt, und hiernach der Antrag zur Ausgrabung eines grössern oder kleinern Profiles gemacht werden. Will man im Gegentheile in einem andern Falle Versandungen oder Verschlämmungen eines Flussarmes bewirken, so muss dem Wasser eine kleinere Geschwindigkeit gegeben werden, welches durch das Verlängern des Flussbettes oder durch das Erweitern desselben erreicht wird. Fig. 8. Tab. 55.

In dieser Hinsicht ist es wichtig, diejenigen Geschwindigkeiten zu kennen, bei welchen die verschiedenen Materialien in einem Flusse dem Wasser zu widerstehen oder nachzugeben vermögen. Der Obristlieutenant *du Buat* hat in seinen Grundlehren der Hydraulik, welche in das Deutsche übersetzt und von Herrn *Eytelwein* mit Anmerkungen und Zusätzen versehen wurden, I. Band, Berlin 1796, §. 71 die Resultate seiner hierüber angestellten Versuche angeführt. Hieraus geht hervor:

1tens. Dass brauner Töpferthon, ob er gleich schwerer als die übrigen Materialien ist, der Wirkung des Wassers in einem Flusse nur dann widersteht, wenn die Geschwindigkeit am Boden etwa drei und jene auf der Oberfläche gegen acht Zoll beträgt. Die Leichtigkeit, womit derselbe vom Wasser angegriffen wird, rührt unstreitig von der grossen Feinheit seiner Theile her, die verhältnissmässig mehr Oberfläche als Masse darbiethen.

2tens. Feiner Sand widersteht nur einer Geschwindigkeit am Boden von sechs und auf der Oberfläche von zwölf Zoll.

3tens. Grober und eckiger Sand kommt in den Beharrungsstand, wenn die Geschwindigkeit am Boden geringer als acht Zoll ist.

4tens. Dem Kiessand in der *Seine*, welcher sich in drei Klassen, nämlich feinen, mittlern und groben abtheilt, ist der Beharrungsstand bei den Geschwindigkeiten von vier, sieben und zwölf Zoll eigen.

5tens. Abgerundete Kieselsteine von einem Zoll im Durchmesser widerstehen einer Geschwindigkeit von vierundzwanzig Zoll, endlich

6tens. Eckige Feuersteine von der Grösse eines Eyes widerstehen der Geschwindigkeit von sechs und dreissig Zoll.

§. 241.

Die Messungen der Querprofile und Geschwindigkeiten des Wassers sind bei jeder hydrotechnischen Aufnahme der Flüsse nothwendig, sie werden aber als Grundlage der meisten Wasserbaue auch erfordert. In einigen Ländern z. B. den Niederlanden sind diese Messungen von grösster Wichtigkeit. Der *Rhein* und die *Maas*, welche aus Deutschland und Frankreich in dieses Reich strömen und daselbst in die Nordsee aus-

münden, verlieren in der Nähe des Meeres ihr ganzes Gefälle und setzen daher allen Sand und Schotter, den sie mitbringen, ab. Dadurch wurde bereits seit mehreren Jahrhunderten die Anlage von Dämmen (Deichen) an beiden Ufern der Flüsse nothwendig, und diese Dämme mussten nach Massgabe, als sich das Flussbett mehr vertrug, abermals erhöht werden. Auf diese Art ist es in einem grossen Theile der nördlichen Provinzen der Niederlande bereits dahin gekommen, dass das Flussbett dem äussern Erdreich entweder gleich oder selbst höher liegt, und man sieht leicht ein, dass die Erhaltung dieser Dämme für die Existenz eines grossen Theiles dieses Landes unumgänglich nothwendig ist. Die Deichunterhaltung und der Flussbau überhaupt gehören demnach zu den wichtigsten Landesanstalten der Niederlande und nicht ohne Grund behaupten die dortigen Hydrotekten schon seit vielen Jahren, dass einem Theile des Königreichs bei den immer wiederkehrenden und stets wachsenden Uiberschwemmungen der Untergang drohe. Bereits im Jahre 1745 kamen die Provinzen Holland, Geldern, Westfriesland, Utrecht und Oberyssel über die Theilung der Wassermenge des Rheines überein und bestimmten, wie viel ein jeder Arm des Rheines hiervon aufnehmen solle. In dieser Hinsicht müssen alle Jahre genaue Abmessungen vorgenommen werden, zumal als die Schlammabsetzung im Rheine nicht fortwährend gleich ist und bald in diesen bald jenen Hauptarm desselben mehr oder minder Wasser eindringt. Hiernach müssen nun auch die Wasserbauten angelegt und zu diesem Behufe die Messungen mit grösster Genauigkeit vorgenommen werden. Ein interessanter Aufsatz über die Theilung des Rheines in den Niederlanden, die Gefahren, welche hierdurch entstehen, und die zu ihrer Abwendung ausgeführten Bauten befindet sich in der: „Beschreibung neuerer Wasserbauwerke in Deutschland, Frankreich, den Niederlanden und der Schweiz von *G. Hagen*, Königsberg 1826.“

§. 242.

Wir haben in diesem Kapitel bisher die Gesetze über die gleichförmige Bewegung des Wassers und dann die Methoden, die abgeführte Wassermenge zu bestimmen, kennen gelernt, und kommen nun gegenwärtig zu der Benützung des Wassers, um mittelst desselben Maschinen zu betreiben.

Das Wasser der Bäche, Flüsse und Ströme ist in den meisten Fällen die wohlfeilste Kraft und kann um so leichter in Anspruch genommen oder verwendet werden, da es sonst ohnehin unbenützt abfliessen würde. Diese Kraft hat den Vortheil, dass sie nie müde wird und Tag und Nacht gleich arbeitet, während die Kraft der Menschen oder Thiere bloss eine ununterbrochene Arbeit von beiläufig 8 Stunden aushält. Aus dieser Ursache werden Mühlen, Hammer- und Pochwerke, Gebläse und überhaupt alle Maschinerien und ganze Fabriken, wo es thunlich ist, an das Wasser gestellt, weil dann bloss die Kosten der Anlage und Unterhaltung der Wasserwerke erfordert werden, welche in den meisten Fällen, wenigstens in unsern Ländern, weit geringer sind, als die Aufstellung und Unterhaltung der Maschinen, welche mittelst der Kräfte der Thiere, der Wasserdämpfe oder des Windes bewegt werden.

Das Wasser in Flüssen fliesst gewöhnlich nicht so schnell, um unmittelbar daran Wasserwerke legen zu können; man muss es daher schwellen und zu diesem Behufe

Wehren anlegen. Man baut nämlich, wie wir bereits gesehen haben, von dem Flusse oder Bache abwärts einen Kanal, der nur so viel Gefälle erhält als es die Bewegung des Wassers unmittelbar fordert. Damit nun aber das Wasser in diesen Kanal hinein fliesse, muss man quer über den Fluss oder Bach ein Wehr bauen. Man versteht hierunter einen Damm, welcher gewöhnlich von Holz mit dazwischen gelegten Steinen über die ganze Breite des Flusses gebaut wird, das Wasser in die Höhe staut, und es in den seitwärts geführten Kanal hinein zu fliessen zwingt. An Flüssen sind die Kanäle unmittelbar neben oder auch in dem Flussbette, wie es in Prag der Fall ist; sie stossen daher unmittelbar an die Wehren an und die Wasserräder stehen sogleich neben dem Wehre, wogegen bei Bächen die Wehren häufig einige hundert Klafter oberhalb dem Maschinenwerke liegen. Im ersten Falle werden unterschlächtige Räder, im zweiten oberschlächtige Räder erbaut, deren Erklärung und Bauart in den nächsten zwei Kapiteln unseres Werkes vorgetragen wird. Die Bauart der Wehren gehört jedoch in den Gegenstand der Baukunst.

§. 243.

Man nennt den obersten Balken oder die Schwelle bei einem Wehre, worüber das Wasser fliesst, so wie auch den Balken oder die Schwelle bei dem Einlaufe des Wassers in ein Gerinne die Hauptschwelle oder den Fachbaum. Die Höhe dieser Schwelle ist, wie man leicht einsieht, die wichtigste Bestimmung bei einem jeden Wehre und der Anlage eines Wasserwerkes. Liegt die Schwelle im Mühlgerinne, wie es häufig geschieht, in der Sohle des Grundbettes und wird die Schwelle an der Wehroberfläche erhöht, so wird auch das Gefälle vor dem Mühlgerinne erhöht, demnach liegt es in dem Privatinteresse aller Müller, die Schwellen auf den Wehren möglichst hoch zu legen. Zur Vermeidung der Nachtheile, welche hieraus durch die Uiberschwemmung der angränzenden Ländereien entstehen könnten, ist in allen Ländern eine gesetzliche Bestimmung über die Höhe der Hauptschwellen auf der Oberfläche der Wehren getroffen und es sind Pegel oder andere bestimmte, unverrückbare Zeichen errichtet, nach welchen die Höhe der Schwellen auf dem Wehre und in den Mühlgerinnen bestimmt wird. Alle Mühlbesitzer dürfen nun diese Höhen unter schweren Ahndungen nicht abändern und gewöhnlich besteht die Einrichtung, dass eine solche Schwelle nur in Gegenwart eines Beamten der Wasserbaubehörde gelegt werden darf. So ist in Böhmen die gesetzliche Verfügung getroffen, dass die grösste Höhe der Schwelle auf der Wehroberfläche über die Schwelle im Mühlgerinne nie mehr als 3 Fuss 6 Zoll böhmisches Mass betragen darf. Es gibt Wehren, bei denen diese Höhe weit geringer ist, jedoch an den schiffbaren Flüssen in Böhmen keine, deren Höhe grösser wäre.

Man nennt bei einem Wehre das Oberwasser dasjenige, welches sich ober dem Wehre und das Unterwasser dasjenige, welches sich unterhalb desselben befindet; demnach wird das Gefälle bei einem jeden Wehre erhalten, wenn man die Höhe des Ober- und Unterwassers von einander abzieht; dieses Gefälle ist jedoch zur Zeit, wenn das Wasser im Flusse anschwillt und das Wehr bedeutend überfliesst, weit kleiner als bei niedrigem Wasserstande, wie denn auch z. B. in Prag die Weh-

ren bei dem Eisgange vom Wasser so überströmt sind, dass man sie nur wenig mehr bemerkt.

§. 244.

Ein **Stau entsteht** nicht bloss, wenn der Lauf des Wassers in seinem natürlichen Flussbette durch ein Wehr gehemmt wird, sondern wenn irgend ein Hinderniss vorhanden ist, wodurch der Wasserabfluss gehemmt und die Oberfläche desselben oder der Wasserspiegel erhöht wird. Beispiele solcher Hindernisse sind nebst den Wehren noch die Brückenpfeiler, Buhnen oder Sporne, grosse Steine, neu entstandene Schotterbänke u. dgl. Für die Berechnung der Stauhöhe, um welche die Oberfläche des Wassers erhöht wird, müssen wir zwei Fälle unterscheiden; entweder erstreckt sich das Hinderniss über die ganze Breite des Flusses gleichförmig, so dass das Wasser genöthigt wird, nach der ganzen Breite in einer gleichen Höhe abzufliessen, wie es bei eingebauten Wehren Statt findet, oder auch die Hindernisse erstrecken sich nur über einige Theile des Flussbettes z. B. die Brückenpfeiler, Buhnen, Schotterbänke u. s. w.

Für die eingebauten Wehren müssen wir wieder drei Fälle unterscheiden: **1tens** wenn die Höhe des Wehres kleiner ist, als die natürliche Tiefe des Flusses vor dem Baue des Wehres war, folglich das Wehr zu jeder Zeit vom Wasser bedeckt wird. Man nennt diess ein unvollkommenes Wehr oder unvollkommenen Uiberfall (*Reversoirs non complets, Demi reversoirs*) **2tens** wenn die Höhe des eingebauten Wehres der gewöhnlichen Höhe des Flusses gleich kommt und **3tens** wenn die Höhe des Wehres die gewöhnliche Höhe des Wassers übersteigt. Man nennt das letztere ein vollkommenes Wehr, oder vollkommenen Uiberfall (*Reversoirs complets*).

Die Ursache, warum man die eine oder andere Art Wehren anlegt, beruht bloss in der Höhe des Staues oder eigentlich in der Grösse des Gefälles, welches man an diesem Orte zu erlangen wünscht. Soll das Gefälle gross seyn, so baut man ein vollkommenes Wehr, welches aber immer kostspieliger als ein unvollkommenes ist. Bevor jedoch ein Wehr angelegt wird, ist es immer nothwendig, die Fragen zu beantworten, welche die Stauhöhe und Stauweite bei demselben betreffen. Ist nämlich die Höhe des zu erbauenden Wehres durch die für die Wasserkraft erforderliche Gefällshöhe gegeben, so frägt es sich, **1tens** wie hoch wird das Wehr das Wasser im höchsten Punkte, welcher gerade vor dem Wehr liegt, stauen, oder wie viel beträgt die grösste **Stauhöhe** (*Hauteur du remou*). **2tens**, wie weit wird die Erhöhung des Wassers im Flusse gehen oder wie viel beträgt die **Stauweite** (*Amplitude du remou*); endlich **3tens**, wie viel wird die Stauhöhe auf jedem Orte der Stauweite betragen.

Die Beantwortung dieser Fragen ist in den folgenden §§. enthalten. Hat man mit Hilfe der aufgestellten Formeln die drei Fragen beantwortet, so vergleicht man die Resultate mit den nivellirten Höhen der beiderseitigen Ufergründe und beurtheilt nun, ob dieselben vom Wasser überschwemmt werden oder nicht. Liegen diese Gründe tiefer, als die grösste Stauhöhe bei Hochwässern beträgt, so muss man das Wehr niedriger bauen, oder den Bau an diesem Orte ganz unterlassen, weil man sonst den Anrainern bedeutende Entschädigungen leisten müsste.

§. 245.

Es sey nun die **Stauhöhe** für den Fall zu bestimmen, wenn in einem Flusse ein Wehr von einem Ufer zum andern in einer solchen Höhe erbaut wird, dass dasselbe kleiner ist als die Wassertiefe. Es sey die gewöhnliche oder natürliche Höhe der Oberfläche des fliessenden Wassers vor dem Einbaue $AC = a$, die Geschwindigkeit des Flusswassers, welche vor dem Einbaue Statt hatte $= c$, die ausgeglichene Breite des natürlichen Flussbettes vor dem Einbaue $= b$, folglich der gewöhnliche Wasserabfluss $= b.a.c$. Die Länge des eingebauten Wehres sey $= B$, die Höhe des Wehres $AB = h$ und die Stauhöhe $DC = x$, demnach die Höhe des gestauten Wassers $AD = a + x$. Fig. 9. Tab. 55.

Da das gestaute Wasser hinter dem Wehre von der gestauten Oberfläche ED wieder in die natürliche Oberfläche des Flusses OM herabfällt, so können wir annehmen, dass das in dem Raume EDCF enthaltene Wasser nach O frei abfliesst. Für diesen Fall ist die Geschwindigkeit des Wassers in $C = \sqrt{4g.x}$ und die mittlere Geschwindigkeit des Wassers von D bis $C = \frac{2}{3}\sqrt{4g.x}$; demnach ist die Wassermenge, welche in der ganzen Breite des Wehres durch den obern Theil CD frei abfliesst $= \frac{2}{3}B.x\sqrt{4g.x}$.

Die Geschwindigkeit des Wassers in dem Raume BC war vorher c, folglich durch eine Druckhöhe $\frac{c^2}{4g}$ erzeugt, zu dieser Höhe kommt nun noch die Geschwindigkeitshöhe x an der Oberfläche, folglich wird die Geschwindigkeit des zwischen C und B abfliessenden Wassers die Summe beider Höhen $\frac{c^2}{4g} + x$ zu ihrer Geschwindigkeitshöhe haben und die Geschwindigkeit daher $\sqrt{4g\left(\frac{c^2}{4g} + x\right)} = \sqrt{c^2 + 4g.x}$ seyn. Diese Geschwindigkeit ist nämlich eben so gross, als die Geschwindigkeit eines Körpers, welcher über eine schiefe Fläche, deren Höhe x ist, herablauft und bei dem obern Punkte oder Anfange der schiefen Fläche die Geschwindigkeit c hat, folglich am Ende derselben die Geschwindigkeit $\sqrt{c^2 + 4g.x}$ erlangt. Demnach ist die durch den Raum $CB = a - h$ nach der ganzen Breite B des Wehres abfliessende Wassermenge $= B(a-h)\sqrt{c^2 + 4g.x}$.

Da nicht mehr und nicht weniger Wasser über das Wehr abfliessen kann, als ursprünglich vorhanden war, so würden wir die Summe $\frac{2}{3}B.x\sqrt{4g.x} + B(a-h)\sqrt{c^2 + 4g.x}$ der ursprünglichen Wassermenge $b.a.c$ gleich setzen können, wenn hier nicht eine ähnliche Zusammenziehung des Wassers wie bei dem Ausflusse durch Wandöffnungen Statt fände. Das Wasser, welches auf dem Grundbette floss, muss sich nämlich vor dem Wehre nach der krummen Linie pB bis auf die Höhe der Hauptschwelle des Wehres erheben, kommt folglich dort in einer schiefen Richtung an und wird auf gleiche Art an der Oberfläche wegen seiner Beschleunigung in der krummen Linie qE im Punkte E nicht horizontal, sondern nach einer schiefen Richtung abfliessen; da diese beiden Wasserstrahlen endlich eine gemeinschaftliche Richtung annehmen, so ergibt sich hieraus deutlich der Grund sei- Fig. 10.

ner Zusammenziehung. Setzen wir demnach den Zusammenziehungskoeffizienten, welcher für diesen Fall Statt findet $= m$, so haben wir die Gleichung

$$m . B \left(\tfrac{2}{3} . x \sqrt{4g . x} + (a - h) \sqrt{c^2 + 4g . x} \right) = b . a . c \text{ oder}$$

$\tfrac{2}{3} . x \sqrt{4g . x} + (a - h) \sqrt{c^2 + 4g . x} = \frac{b . a . c}{m . B}$, woraus nunmehr die Stauhöhe x zu suchen ist. Da für die strenge Auflösung die Grösse x von dem Wurzelzeichen befreit werden muss und hierdurch eine Gleichung des 6^{ten} Grades zum Vorschein kommt, welche nur durch Näherung aufgelösst werden kann, so ist es vortheilhafter, die unbekannte x sogleich aus der Gleichung $\tfrac{2}{3} . x \sqrt{4g . x} + (a - h) \sqrt{c^2 + 4g . x} - \frac{b . a . c}{m . B} = 0$ durch Annäherung zu bestimmen.

Zur Bestimmung des Zusammenziehungskoeffizienten m werden wieder Versuche erfordert. Diese sind leider bisher noch nicht im Grossen angestellt worden. Die wenigen hierüber im Kleinen gemachten Versuche sind in den gehaltvollen: „Untersuchungen über den Effekt einiger in Rheinland - Westphalen bestehenden Wasserwerke von *P. N. C. Egen*, Abtheilung I., Berlin 1831“ verzeichnet. Als Resultat der daselbst angeführten Beobachtungen wird Seite 34 gesagt, dass bei den meisten Uiberfällen, die im Grossen vorkommen, auf allen Seiten Zusammenziehung Statt finde und dass der Koeffizient für diesen Fall, wenn der Abfluss frei ist $= 0{,}63$ sey.

Herr *Eytelwein* nimmt für Uiberfälle ohne Flügelwände $m . 2\sqrt{g} = 5$ im Rheinl. Maass an, woraus ebenfalls $m = 0{,}633$ folgt; für Uiberfälle mit Flügelwänden, oder wenn die mittlere Breite des Flussbettes der Breite des Wehres oder Uiberfalles gleichkommt, setzt derselbe $m . 2\sqrt{g} = 6{,}76$ woraus $m = 0{,}856$ folgt.

§. 246.

Beispiel. Es sey die natürliche Höhe des Flusswassers $a = 3$ Fuss, die Höhe des Wehres $h = 2$ Fuss, die Geschwindigkeit des Wassers $c = 4$ Fuss, die Länge des schief gestellten Wehres $B = \tfrac{4}{3} b$ und der Zusammenziehungskoeffizient $m = 0{,}856$.

Für diese Werthe gibt die aufgestellte Gleichung $\tfrac{2}{3} x \sqrt{62 x} + \sqrt{16 + 62 x} - 10{,}514 = 0$. Um hieraus x nach der bekannten Näherungsmethode aufzulösen, wollen wir zuerst $x = 1$ Fuss setzen; diess gibt $5{,}249 + 8{,}832 - 10{,}514 = 14{,}081 - 10{,}514 = + 3{,}567$. Da die positiven Glieder kleiner gemacht werden müssen, so setzen wir $x = 0{,}7$ Fuss und erhalten $3{,}074 + 7{,}707 - 10{,}514 = 0{,}267$. Um den richtigen Werth für x mit einiger Wahrscheinlichkeit zu finden, können wir sagen: die Verminderung der Unbekannten um $0{,}3$, nämlich von $x = 1$ auf $x = 0{,}7$ bewirkte in dem Werthe der Gleichung eine Verminderung um $3{,}300$, nämlich von $+ 3{,}567$ auf $+ 0{,}267$; demnach wird eine Verminderung der Unbekannten um z eine Verminderung im Werthe der Gleichung um $3{,}567$, nämlich von $+ 3{,}567$ auf 0 bewirken. Aus dieser Proporzion folgt $z = \frac{0{,}3 . 3{,}567}{3{,}3} = 0{,}324$, demnach $x = 1 - 0{,}324 = 0{,}676$ Fuss. Wird dieser Werth in die obige Gleichung substituirt, so ist $2{,}918 + 7{,}610 - 10{,}514 = + 0{,}014$. Sucht man abermals aus einer ähnlichen Proporzion die Verbesserung der Unbekannten nach dem ersten und letzten Resultate, so findet man

diese $=\frac{0,324\,.\,3,567}{3,553}=0,325$, demnach $x=1-0,325=0,675$ Fuss. Setzt man wieder diesen Werth in die erste Gleichung, so findet man $2,911+7,606-10,514=+0,003$. Hieraus sehen wir, dass für den angenommenen Fall die durch den Einbau des Wehres verursachte Stauhöhe sehr nahe 0,675 Fuss betragen werde.

§. 247.

Der **zweite Fall** bei der Berechnung der **Stauhöhe** tritt dann ein, wenn dem Wehre zur Höhe die ganze Wassertiefe gegeben wird, so, dass die Oberfläche des Wehres in die Höhe der natürlichen Wasseroberfläche zu liegen kommt. Dieser Fall lässt sich nach der aufgestellten Gleichung beantworten, indem man nur $a=h$ setzt, wodurch das zweite Glied in der Gleichung wegfällt. Wir erhalten demnach

$\frac{2}{3}x\sqrt{4g\,.\,x}=\frac{b\,.\,a\,.\,c}{m\,.\,B}$. Wird diese Gleichung zum Quadrate erhoben, so ist

$\frac{16}{9}g\,.\,x^3=\left(\frac{b\,.\,a\,.\,c}{m\,.\,B}\right)^2$, woraus $x=\sqrt[3]{\frac{9}{16\,g}\left(\frac{b\,.\,a\,.\,c}{m\,.\,B}\right)^2}$ folgt.

Setzen wir hier wie im letzten **Beispiele** die Tiefe des Wassers $a=3$ Fuss, die Geschwindigkeit desselben $c=4$ Fuss, das Verhältniss der Breite des Flusses zur Länge des schief gestellten Wehres $\frac{b}{B}=\frac{3}{4}$, die Höhe des Wehres $h=a=3$ Fuss, endlich den Zusammenziehungskoeffizienten abermals $m=0,856$, so gibt die letzte Gleichung die Stauhöhe $x=\sqrt[3]{\frac{9}{16\,.\,15,5}\left(\frac{3\,.\,3\,.\,4}{4\,.\,0,856}\right)^2}=1,589$ Fuss.

§. 248.

Zur Auflösung des **dritten Falles**, wenn nämlich das Wehr über die Oberfläche des natürlichen Wassers gebaut wird, oder die Höhe des Wehres $AB=h$ grösser als die Tiefe des Wassers $AC=a$ ist, dient die zuletzt aufgestellte Gleichung, nach welcher die Höhe $DB=x$, in welcher der Abfluss des Wassers ins Freie erfolgt, zu berechnen kommt; diese ist nämlich $x=\sqrt[3]{\frac{9}{16\,g}\left(\frac{b\,.\,a\,.\,c}{m\,.\,B}\right)^2}$. Die Stauhöhe, um welche gefragt wird, ist aber $CD=AB+BD-AC=h+x-a$ (Fig. 11. Tab. 55.)

$=h-a+\sqrt[3]{\frac{9}{16\,g}\left(\frac{b\cdot a\cdot c}{m\,.\,B}\right)^2}$.

Behalten wir die Abmessungen des vorigen **Beispieles** und setzen nur die Höhe des Wehres $h=3,5$ Fuss, so findet man hiernach die Stauhöhe $=3,5-3+1,589=2,089$ Fuss.

§. 249.

In einem **vierten Falle** kann der Einbau von der Art seyn, dass er nie vom Wasser überstiegen werden kann und dass er daher bloss eine Verengung des Flussbettes bewirkt, wie z. B. bei dem Baue der Brücken. Zur Berechnung der Stauhöhe für diesen Fall dient abermals die anfangs aufgestellte Gleichung; nur ist hierin die Höhe h des

Einbaues unter dem Wasser $=0$ zu setzen und unter B die Summe der Zwischenweiten, welche dem Wasserabflusse übrig bleiben, zu verstehen. Ist nämlich die Breite eines jeden eingebauten Brückenpfeilers $=\beta$ und ihre Anzahl $=n$, so entziehen sie der Flussbreite b den Raum $n.\beta$ und es bleibt nach dem Einbaue für den Wasserdurchfluss bloss die Breite $B=b-n.\beta$ übrig. Die nach diesen Bemerkungen geänderte Gleichung für die Stauhöhe ist daher $\frac{2}{3}x\sqrt{4g.x}+a\sqrt{c^2+4g.x}-\frac{a.b.c}{m\,(b-n.\beta)}=0.$

Für Brückenpfeiler mit spitzen Vordertheilen oder bei schrägen Einbauen kann nach Seite 158 der Werth m mit $0{,}954$ und in vielen Fällen selbst $m=1$ gesetzt werden.

Beispiel. Es sey die Breite eines Flusses $b=130$ Klafter $=780$ Fuss, über welchen eine steinerne Brücke mit $5\,(=n)$ Pfeilern von 12 Fuss $(=\beta)$ Breite zu erbauen ist. Es fragt sich, wie gross ist der durch den Einbau dieser Brücke zu erwartende Aufstau des Wassers $(=x)$, wenn die mittlere Tiefe desselben $a=6$ Fuss und seine Geschwindigkeit $c=4$ Fuss beträgt, dann $m=1$ gesetzt wird.

Mit Anwendung dieser Werthe erhalten wir für die Stauhöhe die Gleichung

$$\frac{2}{3}x\sqrt{62\,x}+6\sqrt{16+62\,x}-26=0.$$

Setzt man hierin	$x=1{,}0$	so ist	$5{,}249$	$+\;52{,}991$	$-\;26$	$=+\;32{,}240$
für	$x=0{,}1$	„ „	$0{,}166$	$+\;28{,}270$	$-\;26$	$=+\;2{,}436$
für	$x=0{,}05$	„ „	$0{,}059$	$+\;26{,}222$	$-\;26$	$=+\;0{,}281$
für	$x=0{,}0437$	„ „	$0{,}0430$	$+\;29{,}9526$	$-\;26$	$=+\;0{,}0006.$

Die durch den Einbau der Brücke zu erwartende Stauhöhe ist daher sehr nahe $x=0{,}0437$ Fuss.

Wenn an beiden Flussufern oder auch nur an einem derselben eine Buhne (Sporn) erbaut wird, welche das Wasser nicht übersteigen kann, so findet auf gleiche Art eine Verengung des Flussbettes Statt und die Berechnung der Stauhöhe geschieht auch nach der eben aufgestellten Gleichung für die Verengung durch Brückenpfeiler; nur ist in diesem Falle in der letzten Gleichung statt $n.\beta$ bloss die Länge der Buhne zu substituiren.

§. 250.

Ein fünfter Fall findet bei der Anlegung einer Buhne Statt, wenn ihre Höhe h kleiner ist, als die Tiefe des Wassers a und das Wasser daher dieselbe übersteigt. Wenn die Stauhöhe, welche durch diesen Einbau verursacht wurde $=x$ ist, so wird, wie bei dem ersten Falle gezeigt wurde, das Wasser der ganzen Flussbreite nach in dem Raume x ins Freie abfliessen und die Wassermenge $m.b.\frac{2}{3}x\sqrt{4g.x}$ abführen. In dem Raume MN, dessen Länge $=l$ sey, fliesst das Wasser unter der natürlichen Wasseroberfläche so ab, wie im ersten Falle in dem Raume CB über dem Wehre und führt daher die Wassermenge $m.l\,(a-h)\sqrt{c^2+4g.x}$ ab; ganz auf dieselbe Weise fliesst das Wasser in dem übrigen Raume NO in der ganzen Wasserhöhe a und führt die Wassermenge $m\,(b-l)\,a\sqrt{c^2+4g.x}$ ab, wenn $B=NO=MO-MN=b-l$ gesetzt wird. Die Summe dieser einzelnen abfliessenden Wassermengen muss der ganzen Wassermenge des Flusses $a.b.c$ gleichkommen; diese Bedingniss gibt sonach die Gleichung

Fig. 12. Tab. 55.

$$m.b.\tfrac{2}{3}x\sqrt{4g.x}+m.l\,(a-h)\sqrt{c^2+4g.x}+m\,(b-l)\,a\sqrt{c^2+4g.x}=a.b.c$$

oder $m.b\,\tfrac{2}{3}x\sqrt{4g.x}+m\,(b.a-h.l)\sqrt{c^2+4g.x}-a.b.c=0.$

Beispiel. Bei der Flusschiffahrt tritt meistens der Fall ein, dass man in breiten und desshalb seichten Flusstrecken in der trockenen Jahreszeit das Flusswasser auf eine geringere Breite zusammenhalten will. Zur Erreichung dieses Zweckes werden Buhnen an einem oder an beiden Ufern des Flusses errichtet, welche nur die fahrbare Wassertiefe zur Höhe bekommen, demnach für die höhern Wässer die ganze Breite des Flussbettes unbeschränkt lassen. Solche Buhnen wurden z. B. vor mehreren Jahren an der Moldau oberhalb Prag angelegt.

Es sey für einen solchen Fall der niedrigste Wasserstand $=1$ Fuss, die für die Schiffahrt nöthige Tiefe aber 2 Fuss. Es fragt sich nun, welche Länge diese Buhnen erhalten müssen, wenn ihre Höhe $h=2$ Fuss beträgt und die Breite des Flussbettes $b=150$ Klafter $=900$ Fuss, die Geschwindigkeit des Wassers aber $c=2$ Fuss ist, endlich wie gross bei einem höheren Wasserstande z. B. $=5$ Fuss die durch die Buhnen verursachte Stauhöhe seyn werde, wenn die Geschwindigkeit nach §. 212, $v=2\sqrt{5}=4{,}5$ Fuss ist.

Zur Beantwortung der ersten Frage müssen wir in der Gleichung des vierten Falles $\tfrac{2}{3}x\sqrt{4g.x}+a\sqrt{c^2+4g.x}-\dfrac{b.a.c}{m\,(b-n.\beta)}=0$, die Grösse $b=900$ Fuss, $h=2$ Fuss, $a=1$ Fuss, $c=2$ Fuss, die nach der Bedingniss zu erzweckende Stauhöhe $x=1$ Fuss und $m=0{,}954$ setzen; demnach wird die fragliche Länge der Buhnen $n.\beta=y$ gesucht werden können. Wir erhalten nämlich mit Anwendung dieser Werthe für die Länge der Buhnen die Gleichung $y=900-\dfrac{900.1.2}{0{,}954\{\tfrac{2}{3}\sqrt{62}+\sqrt{4+62}\}}=900-\dfrac{1800}{12{,}758}=758{,}9$ Fuss; die Buhnen müssen daher eine Länge von 759 Fuss bekommen und der für die Schiffahrt übrig bleibende Raum hat nur die Breite von 141 Fuss.

Für die Beantwortung der zweiten Frage dient nun die letzte oben angegebene Gleichung, in welcher $b=900$ Fuss, $h=2$ Fuss, $c=4{,}5$ Fuss, $l=759$ Fuss, $a=5$ Fuss und m wie zuvor $=0{,}954$ gesetzt wird, die Stauhöhe x aber zu finden ist. Die Substituzion dieser Werthe gibt $0{,}954.900.\tfrac{2}{3}x\sqrt{62x}+0{,}954\,(900.5-2.759)\sqrt{20{,}25+62x}-5.900.4{,}5=0$, oder $x\sqrt{62x}+4{,}97\sqrt{20{,}25+62x}-35{,}377=0$.

Setzen wir hierin $x=0{,}6$, so ist $3{,}660+37{,}670-35{,}377=+5{,}953$
für $x=0{,}4$, ist $1{,}992+33{,}358-35{,}377=-0{,}027$
für $x=0{,}401$ ist $1{,}999+33{,}381-35{,}377=+0{,}003$.

Die Stauhöhe, welche durch die Errichtung der Buhnen zu besorgen ist, wird daher unter den vorausgesetzten Umständen nur die Höhe von 0,4 Fuss erreichen.

§. 251.

Betrachten wir nun noch die berechneten Fälle im Allgemeinen, so sehen wir hieraus die mekwürdige Eigenschaft, dass an dem Orte, wo das Wasser durch einen Einbau verenget wird, die G e s c h w i n d i g k e i t am B o d e n g r ö s s e r w e r d e a l s a n d e r O b e r f l ä c h e, wogegen in den natürlichen Flussbetten die Geschwindigkeit am Boden kleiner gefunden wird als an der Oberfläche; es ist nämlich in dem obern

Theile die Geschwindigkeit des gestauten Wassers $= \sqrt{4g \cdot x}$, in dem untern Theile dagegen $= \sqrt{c^2 + 4g \cdot x}$, also in jedem Falle grösser.

Schon *Mariotte* hat diese Erscheinung in seinen angestellten Versuchen beobachtet; er brachte nämlich eine hohle metallene Röhre in das Wasser und beschwerte sie an dem untern geschlossenen Ende so lange mit eingefülltem Sande u. dgl., bis sie sich in einer vertikalen Lage schwebend im Wasser erhielt. Diese Röhre brachte er vor einer Brücke in die *Seine* und überliess sie dem Strome. So lange die Röhre ober der Brücke im natürlichen Flussbette sich befand, schwamm sie mit dem obern hervorragenden Theile in einer nach vorwärts geneigten Lage; er schloss daher dass die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers an der Oberfläche grösser und in der Tiefe kleiner sey; als aber die Röhre zwischen die Brückenpfeiler oder in das verengte Flussbett kam, schwamm sie in der umgekehrten Lage und zeigte die Geschwindigkeit an der Oberfläche kleiner und in der Tiefe grösser; unterhalb der Brücke im natürlichen Flussbette nahm die schwimmende Röhre abermals die erste Lage an. Hierdurch wird offenbar die obige Bemerkung vollkommen bestätigt.

Die anfänglich aufgestellte allgemeine Gleichung lässt sich auch in die Form $\frac{2}{3} x \sqrt{4g \cdot x} = \frac{b \cdot a \cdot c}{m \cdot B} - (a - h) \sqrt{c^2 + 4g \cdot x}$ bringen, aus welcher sich weiters die Stauhöhe $x = \sqrt[3]{\left\{\frac{b \cdot a \cdot c}{m \cdot B} - (a - h) \sqrt{c^2 + 4g \cdot x}\right\}^2 \cdot \frac{9}{16g}}$ ableiten lässt. Da $\frac{b \cdot a \cdot c}{m \cdot B}$ für jeden Fall eine gegebene Grösse ist, so zeigt die letzte Gleichung deutlich, dass die Stauhöhe um so grösser werde, je kleiner die Geschwindigkeit c des Flusses ist, weil in diesem Falle die negative Grösse kleiner ist, also weniger abgezogen wird und daher mehr übrig bleiben muss. Wir sehen demnach, dass in ebenen Gegenden, wo das Wasser in dem Flusse mit einer kleinern Geschwindigkeit fliesst, grössere Staue und daher auch grössere Uiberschwemmungen erfolgen, als in jenen Flusstrecken, wo eine grössere Geschwindigkeit des Wassers Statt findet, was auch die Erfahrung bestätigt. Hinsichtlich des Verhältnisses der Länge des Wehres B gegen die Breite b des Flusses sehen wir, dass die Stauhöhe desto weniger betragen wird, je länger ein Wehr ist, oder je schiefer dasselbe über den Fluss geführt wird. Wenn endlich der Zusammenziehungskoeffizient $m = 1$ ist, oder diesem Werthe sehr nahe kommt, so wird auch die Stauhöhe viel weniger betragen, als im Gegentheile.

§. 252.

Die zweite Frage, welche wir zu beantworten haben, betrifft die **Stauweite**. Es handelt sich nämlich in einem jeden praktischen Falle nicht bloss um die Bestimmung, wie viel die grösste Stauhöhe, zu deren Berechnung wir bereits die Anleitung gaben, beträgt, sondern auch wie weit der Stau in dem Flusse reiche und wie gross die Stauhöhe des Wassers auf einem jeden Orte der Stauweite sey.

Fig. 13 Tab. 55. Um dieses zu beantworten, sey MBN die Oberfläche des gestauten Flusses und NC die ganze Stauhöhe. Es ist leicht einzusehen und wird in der folgenden Theorie erwiesen, dass die Linie MN keine gerade, sondern eine krumme Linie sey. Um eine Annäherungsrechnung zu machen, können wir uns dieselbe als einen **Kreisbogen**

vorstellen; ziehen wir nun aus dem Punkte N eine Tangente zu dieser krummen Linie, so wird selbe die Oberfläche des Flusses vor dem Einbaue, nämlich die Linie MC in O schneiden und es bildet MO die zweite Tangente dieses grossen Kreises, der mit der krummen Linie übereinkommt. Aus der Lehre vom Kreise ist bekannt, dass die zwei Tangenten NO und MO einander gleich seyn müssen; wir haben daher nur die Länge der einen zu finden und mit 2 zu multipliziren, um die ganze Stauweite zu erhalten. Zu diesem Behufe ziehen wir noch aus O und B die horizontalen Linien OA und BD, so wird AC das Gefälle für das ungestaute Wasser auf der Strecke OA seyn, demnach ist Fig. 13. Tab. 55.

$\frac{AC}{OA} = \frac{p}{f}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{c^2}{4g} + \frac{c}{36000\sqrt{a}}\right)$. Wird das Wehr in den Fluss gebaut, so wird oberhalb dem Wehre sowohl die Querschnittsfläche als auch die Peripherie des Flusses grösser, seine Geschwindigkeit aber kleiner. Es sey die Fläche $=$ F, die Peripherie $=$ P, die mittlere Tiefe des gestauten Wassers $=$ A und die Geschwindigkeit $=$ v, so wird DN das Gefälle auf die Länge BD $=$ OA seyn und wir erhalten abermals die Gleichung

$\frac{DN}{OA} = \frac{P}{F}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{36000\sqrt{A}}\right)$. Zieht man die zweite Gleichung von der ersten ab, so ist $\frac{AC - DN}{OA} = \frac{p}{f}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{c^2}{4g} + \frac{c}{36000\sqrt{a}}\right) - \frac{P}{F}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{36000\sqrt{A}}\right)$. Da nun AC $-$ DN $=$ AC $-$ DA $-$ AN $=$ NC $-$ DA und da, wie unten gezeigt wird, die Stauhöhe in der Mitte OB $=$ DA $= \frac{1}{4}$ NC ist, so folgt

$$OA = \frac{\frac{3}{4} NC}{\frac{p}{f}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{c^2}{4g} + \frac{c}{36000\sqrt{a}}\right) - \frac{P}{F}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{36000\sqrt{A}}\right)}.$$ Weil aber

OA $=$ EF $= \frac{1}{2}$ ME ist, so folgt die

$$\text{ganze Stauweite } ME = \frac{\frac{3}{2} NC}{\frac{p}{f}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{c^2}{4g} + \frac{c}{36000\sqrt{a}}\right) - \frac{P}{F}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{v}{36000\sqrt{A}}\right)}.$$

Zur Berechnung der Stauweite muss daher die ganze Stauhöhe, dann die Grössen p, f, a, c und P, F, A, v gegeben seyn oder ausgemittelt werden.

Um die Stauhöhe für jeden Punkt der Stauweite zu finden, sey wieder MN die krumme Oberfläche des gestauten Wassers, MO der Halbmesser der Krümmung und NC die grösste Stauhöhe. Verlängert man die Linie MO, bis dieselbe den Kreis in Q schneidet, und zieht man die Linie CNQ, so ist nach den Regeln der Geometrie $CM^2 = CN.MQ$, wenn man CQ $=$ MQ annimmt. Zieht man aus irgend einem andern Punkte a die Linie aQ, so hat man wieder $aM^2 = ab.MQ$. Demnach verhält sich $CM^2 : aM^2 = CN : ab$ oder $CM : aM = \sqrt{CN} : \sqrt{ab}$, oder die Stauhöhen verhalten sich wie die Quadrate der Stauweiten vom Anfange der Stauung angerechnet. Wenn demnach die ganze Stauweite und Stauhöhe bekannt ist, so kann man für jede Stauweite die betreffende Stauhöhe und umgekehrt finden. Ist die ganze Stauhöhe $=$ NC $=$ H und die ganze Stauweite MN $=$ E, so werden die Stauhöhen auf $\frac{1}{4}$ E, $\frac{2}{4}$ E und $\frac{3}{4}$ E gleich $\frac{1}{16}$ H, $\frac{4}{16}$ H und $\frac{9}{16}$ H seyn, weil nach der obigen Proporzion $\frac{1}{16}H : \frac{4}{16}H : \frac{9}{16}H : \frac{16}{16}H = (\frac{1}{4}E)^2 : (\frac{2}{4}E)^2 : (\frac{3}{4}E)^2 : (\frac{4}{4}E)^2 = 1 : 4 : 9 : 16$ sich verhält. Fig. 14.

Will man aber die Stauweiten vom Punkte der grössten Stauhöhe messen, so ist $aM = CM - Ca$ und daher $CM : CM - Ca = \sqrt{CN} : \sqrt{ab}$ oder

$aC : CM = \sqrt{CN} - \sqrt{ab} : \sqrt{CN}$. Aus diesen zwei Proporzionen kann man die Stauhöhe für jeden Punkt, wenn die Länge CM, Ca und die grösste Stauhöhe gegeben ist, oder umgekehrt die Entfernung Ca, welche einer bestimmten Stauhöhe ab entspricht, finden.

§. 253.

Beispiel. Bei einem Flusse, dessen mittlere Tiefe $a = 2$ Fuss und sein Gefälle 4 Zoll auf 100 Klafter oder $\frac{1}{1800} = \frac{\alpha}{l}$, folglich seine Geschwindigkeit c nach der Gleichung $\frac{\alpha}{l} = \frac{1}{a}\left(\frac{c^2}{180.62} + \frac{c}{36000\sqrt{a}}\right)$ berechnet $= 3{,}5$ Fuss beträgt, wird ein Wehr von der Höhe $h = 5{,}5$ Fuss eingebaut; es fragt sich 1tens. Auf welchen Entfernungen vom Wehre befinden sich die gestauten Wassertiefen $h' = 4$ Fuss, 3 Fuss u. s. w., wenn das Wasser bloss auf der Höhe des Wehres gehalten und der ganze Wasserzufluss auf die zur Seite liegenden Mühlwerke abgeführt wird. 2tens. Auf welche Höhe wird das Wasser gehoben, wenn alle Mühlschützen geschlossen werden, folglich die ganze Wassermenge über das Wehr abfliessen muss und auf welchen Entfernungen vom Wehre befinden sich dann die gestauten Wassertiefen $h' = 5{,}5$ Fuss, 4 Fuss u. s. w., endlich 3tens. Auf welche Höhe wird das Wasser über dem Wehre gehoben, wenn zur Zeit einer Anschwellung des Flusses die mittlere Wassertiefe a auf 6 Fuss anwächst und der ganze Wasserzufluss über das Wehr abfliessen muss, und wie nehmen dann die gestauten Höhen nach den verschiedenen Entfernungen vom Wehre ab.

Die Berechnung der gesuchten Stauweiten des ersten Theiles der Frage kann auf eine elementare Weise nach den im vorigen §. aufgestellten Formeln geschehen*). Hier ist nämlich $C = 3{,}5$ Fuss, $a = 2$ Fuss, die ganze Stauhöhe $NC = 3{,}5$ Fuss, die mittlere

*) Eine genauere Berechnung der Stauweite ergibt sich aus der allgemeinen Gleichung, wodurch die ungleichförmige Bewegung der fliessenden Wässer und das Längenprofil für ihre Oberfläche bestimmt wird. Um diese Gleichung aufzustellen, bemerken wir vorerst, dass nach den allgemeinen Grundsätzen der Hydrostatik jedes Wassertheilchen B das Gewicht aller darüber befindlichen Wassertheile von A bis B tragen muss, folglich von dem Gewichte einer Wassersäule gedrückt werde, welche die senkrechte Linie A B zur Höhe hat. Weil aber nach den Grundsätzen der vollkommenen Flüssigkeit das Wassertheilchen B die Freiheit hat, diesem Drucke nach der Seite auszuweichen, wenn nicht auch ein gleicher Druck von derselben Seite entgegen steht, so sieht man, dass das vollkommene Gleichgewicht oder der Zustand der Ruhe in allen Theilen der Flüssigkeit nur dann Statt finden könne, wenn die Oberfläche des Wassers M A N horizontal ist sonach alle Punkte der durch B gezogenen horizontalen Linie das Gewicht gleicher Wassersäulen zu tragen haben. Hat aber die Oberfläche die geneigte Lage L A Q, so wird in der Linie L M O der Punkt O von der Wassersäule L O gedrückt und da der Punkt B nur von der Wassersäule A B gedrückt wird, so ergibt sich von selbst, dass der Punkt B von der Wassersäule L O einen grössern Seitendruck erfahren werde, welcher nämlich $LO - AB = LM$ zur Höhe hat. Was wir von diesem Punkte B gezeigt haben, lässt sich auch von allen übrigen Punkten der Linie A C ersichtlich machen, indem alle den gleichen Seitendruck von der Höhe L M erfahren.

Fig. 15. Tab. 55.

Wenn wir nun zur Bestimmung des Längenprofils aus irgend einem Punkte E die horizontale Linie E D H ziehen und $ED = x$, $DL = y$, $DH = dx$ und $GA = dy$, dann die Querschnittsfläche $AC = f$ setzen, so ist der Druck an diese Querschnittsfläche dem Gewichte der Wassersäule $56{,}4 \,.\, f \,.\, dy$ gleich. Ist F R C das Grundbett des Flusses und $DEI = \alpha$ dessen Neigung zur Horizontallinie, so ist $DI = x \,.\, \text{tang} \,.\, \alpha$; die Höhe des Wassers im Flussbette in E, nämlich E F sey $= a$ und die Höhe $LR = z$, so ist $y = DL = DR - RL = x \,.\, \text{tang}\, \alpha + a - z$,

Tiefe A des gestauten Wassers für die Strecke O A ergibt sich aus der Betrachtung, dass die Tiefe bei $N = 5{,}5$ Fuss, bei B aber nur $= 2 + \frac{1}{4} . 3{,}5 = 2{,}875$ Fuss sey, weil wie wir Fig. 13. Tab. 55.

also $dy = dx . \tang \alpha - dz$. Bei der Bewegung des Wassers in Flussbetten muss aber von dy diejenige Druckhöhe abgezogen werden, welche zur Uiberwältigung der Widerstände in dem Flussbette nöthig ist. Hierzu ist aber nach §. 209 für die Länge dx eine Druckhöhe Fig. 15.
$du = \frac{dx}{z}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B \cdot v\right)$ nothwendig. Wir haben demnach die Höhe $dy - du$, welche an die Querschnittsfläche f des Flusses drückt und dadurch dem Elemente $f . dx$ die Beschleunigung dv zusetzt. Setzen wir demnach das Gewicht dieses Elementes $= 56{,}4\, f . dx$ und die Beschleunigung, welche die allgemeine Schwerkraft diesem Elemente geben würde $= 2g \cdot dt = 2g \cdot \frac{dx}{v}$, so haben wir nach den allgemeinen Gesetzen der Mechanik die Proporzion:

$56{,}4\, f \cdot dx : 2g \cdot \frac{dx}{v} = 56{,}4\, f\,(dy - du) : dv$; daraus folgt

$$\frac{v \cdot dv}{2g} = dy - du = dx \cdot \tang \alpha - dz - \frac{dx}{z}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B . v\right).$$

Bevor wir von dieser Gleichung einen weitern Gebrauch machen, wollen wir ihre Richtigkeit noch in folgenden bekannten Fällen prüfen. Bei der gleichförmigen Bewegung des Wassers in Flüssen ist $z = a$ und v eine beständige Grösse, folglich sowohl dz als $dv = 0$. Daraus ergibt sich $0 = dx \cdot \tang \alpha - \frac{dx}{a}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B \cdot v\right)$ oder weil $\tang \alpha =$ der Höhe h des Gefälles getheilt durch die Länge l oder $= \frac{h}{l}$ ist, so haben wir $\frac{h}{l} = \frac{1}{a}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B \cdot v\right)$, welches mit der §. 209 und 210 angegebenen Gleichung übereinstimmt. — Wenn kein Widerstand der Wände im Flussbette Statt findet, folglich $u = 0$ ist, so haben wir $\frac{v \cdot dv}{2g} = dx \cdot \tang \alpha - dz = dy$, mithin $\frac{v^2}{4g} = y$, wie es bei der Bewegung des Wassers in Flussbetten ohne Rücksicht auf die Widerstände gezeigt wurde.

Wir wollen nunmehr aus der oben aufgestellten Gleichung
$\frac{v \cdot dv}{2g} = dx . \tang \alpha - dz - \frac{dx}{z}\left(A \cdot \frac{v^2}{4g} + B . v\right)$ die **krumme Linie für die Oberfläche des Wassers** zu bestimmen suchen. In dieser Gleichung kommen drei veränderliche Grössen x, z und v vor, wovon eine durch den Umstand zu beseitigen ist, dass durch alle Querschnitte eine gleiche Wassermenge, sowohl vor als nach dem Einbaue durchfliessen muss, diess gibt $b . a . c = b . z . v$, woraus $v = \frac{a . c}{z}$ und $dv = -\frac{a . c . dz}{z^2}$ folgt. Der Winkel α lässt sich durch den Umstand beseitigen, dass vor dem Einbaue des Wehres das Wasser auf dem Grundbette F C seine Bewegung mit gleichförmiger Geschwindigkeit c zurückgelegt hat; demnach ist $\tang \alpha = \frac{1}{a}\left(A \cdot \frac{c^2}{4g} + B . c\right)$. Setzen wir nun in die obige Gleichung statt v und $\tang \alpha$ die gefundenen Werthe, so erhalten wir

$$-\frac{a^2 . c^2 . dz}{2g . z^3} = \frac{dx}{a}\left(A \cdot \frac{c^2}{4g} + B . c\right) - dz - \frac{dx}{z}\left(A \cdot \frac{a^2}{z^2} \cdot \frac{c^2}{4g} + B \cdot \frac{a . c}{z}\right).$$

Daraus folgt $dx \cdot A \cdot \frac{c^2}{4g}\left(\frac{1}{a} - \frac{a^2}{z^3}\right) + dx . B . c\left(\frac{1}{a} - \frac{a}{z^2}\right) = dz\left(1 - \frac{a^2 . c^2}{2g . z^3}\right)$.

Wird diese Gleichung mit z^3 multiplizirt und alle Grössen, die zur Funkzion z gehören, auf eine Seite gebracht, so erhalten wir

$$dx = \frac{dz\left(z^3 - \frac{c^2 . a^2}{2g}\right)}{\left(\frac{A}{a} \cdot \frac{c^2}{4g} + \frac{B}{a} \cdot c\right) z^3 - B . c . a . z - \frac{A . c^2 . a^2}{4g}}.$$

früher erinnerten, die Stauhöhe auf der halben Stauweite nur den **4ten** Theil der ganzen Stauhöhe beträgt. Demnach ist die mittlere Tiefe $A = \frac{5{,}5 + 2{,}875}{2} = 4{,}1875$ Fuss.

Um abzukürzen, wollen wir $\frac{A}{a} \cdot \frac{c^2}{4g} + \frac{B \cdot c}{a} = p$ setzen und im Nenner p zum gemeinschaftlichen Faktor machen, dadurch erhalten wir

$$dx = \frac{dz}{p}\left\{\frac{z^3 - \frac{c^2 \cdot a^3}{2g \cdot a}}{z^3 - \frac{B \cdot c}{p \cdot a} \cdot a^2 \cdot z - \frac{A \cdot c^2 \cdot a^3}{4g \cdot p \cdot a}}\right\}.$$

Um diese Gleichung zu integriren, müssen wir vorläufig die Grösse z^3 im Zähler durch die Division mit dem Nenner wegschaffen, und es ist

$$dx = \frac{dz}{p}\left\{1 + \frac{\frac{B \cdot c}{p \cdot a} \cdot a^2 \cdot z + \left(\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a \cdot p} - \frac{c^2}{2g \cdot a}\right)a^3}{z^3 - \frac{B \cdot c}{p \cdot a} \cdot a^2 \cdot z - \frac{A \cdot c^2 \cdot a^3}{4g \cdot a \cdot p}}\right\}.$$

Wird hier Zähler und Nenner des Bruches mit p multiplizirt, und im Nenner für p sein Werth gesetzt, so erhalten wir:

$$dx = \frac{dz}{p}\left\{1 + \frac{\frac{B \cdot c}{a} \cdot a^2 \cdot z + \left(\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a} - \frac{c^2 \cdot p}{2g \cdot a}\right)a^3}{\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a}(z^3 - a^3) + \frac{B \cdot c}{a} \cdot z(z^2 - a^2)}\right\}.$$

Nun ist aber $z - a$ ein gemeinschaftlicher Faktor des Nenners; dadurch erhält der Nenner folgende Gestalt:

$$(z-a)\left\{\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a}(z^2 + z \cdot a + a^2) + \frac{B \cdot c}{a} \cdot z(z+a)\right\} = (z-a)\left\{z^2\left(\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a} + \frac{B \cdot c}{a}\right) + z \cdot a\left(\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a} + \frac{B \cdot c}{a}\right) + a^2 \cdot \frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a}\right\}$$

und weil $\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a} + \frac{B \cdot c}{a} = p$ ist, auch $= p\,(z - a)\left\{z^2 + a \cdot z + a^2 \cdot \frac{A \cdot c^2}{4g \cdot p \cdot a}\right\}$.

Dieses statt des gedachten Nenners geschrieben gibt:

$$dx = \frac{dz}{p}\left\{1 + \frac{\frac{B \cdot c}{p \cdot a} \cdot a^2 \cdot z + \frac{1}{p}\left(\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a} - \frac{p \cdot c^2}{2g \cdot a}\right)a^3}{(z-a)\left(z^2 + a \cdot z + \frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a \cdot p} \cdot a^2\right)}\right\}.$$

Setzen wir hierin zur Abkürzung die Grössen $\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot p \cdot a} = \gamma$, $\frac{B \cdot c}{p \cdot a} = \mu$ und $\frac{1}{p}\left(\frac{A \cdot c^2}{4g \cdot a} - \frac{p \cdot c^2}{2g \cdot a}\right) = \varrho$, so ist $dx = \frac{dz}{p}\left\{1 + \frac{\mu \cdot a^2 \cdot z + \varrho \cdot a^3}{(z-a)(z^2 + a \cdot z + \gamma \cdot a^2)}\right\}$.

Wird nun diese Funkzion nach der bekannten Methode in parzielle Brüche zerlegt, so erhalten wir: $\frac{\mu \cdot a^2 \cdot z + \varrho \cdot a^3}{(z-a)(z^2 + a \cdot z + \gamma \cdot a^2)} = \frac{M}{z-a} + \frac{P \cdot a + Q \cdot z}{z^2 + a \cdot z + \gamma \cdot a^2}$.

Zur Bestimmung der Grössen M, P und Q dienen die Gleichungen

$M = \frac{(\mu + \varrho)\,a}{\gamma + 2}$, $P = \frac{(\mu \cdot \gamma - 2\varrho)\,a}{\gamma + 2}$ und $Q = -M = -\frac{(\mu + \varrho)\,a}{\gamma + 2}$. Wir erhalten sonach

$dx = \frac{1}{p}\left\{dz + M\left(\frac{dz}{z-a}\right) + \frac{P \cdot a \cdot dz}{z^2 + a \cdot z + \gamma \cdot a^2} - \frac{M \cdot z \cdot dz}{z^2 + a \cdot z + \gamma \cdot a^2}\right\}$. Hiervon ist das Integrale

$$x = \frac{1}{p}\left\{z + M \cdot \text{nat.} \log \frac{z-a}{\sqrt{z^2 + a \cdot z + \gamma \cdot a^2}} + \frac{2P + M}{\sqrt{4\gamma - 1}} \cdot \text{Arc.} \tan \frac{a + 2z}{a\sqrt{4\gamma - 1}}\right\} + \text{Konst.}$$

Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in der gestauten Strecke O A finden wir aus der Gleichung $a.b.c = A.b.v$, woraus $v = \frac{a.c}{A} = \frac{2.3{,}5}{4{,}1875} = 1{,}7$ Fuss folgt. Fig. 13. Tab. 55.

Werden diese Werthe in die aufgestellte Gleichung für die Stauweite substituirt, so ist dieselbe

$$ME = \frac{{}^3/_2 \, . \, 3{,}5}{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{(3{,}5)^2}{62} + \frac{3{,}5}{36000\sqrt{24}}\right) - \frac{1}{4{,}1875}\left(\frac{1}{180} \cdot \frac{(1{,}7)^2}{62} + \frac{1{,}7}{36000\sqrt{12.4{,}1875}}\right)}$$

oder $ME = 10599$ Fuss $= 1766{,}5$ Klafter. Die Stauweite wird also in dem Falle als das geschwellte Wasser bloss auf der Höhe des Wehres gehalten wird, sich beinahe auf eine halbe Meile erstrecken.

Nehmen wir nun wegen der Gleichförmigkeit mit der auf der folgenden Seite vorkommenden genauen Auflösung dieses Beispieles mittelst höherer Rechnung für die Entfernung $Nb = Ca = 156{,}4$ Klafter, so ergibt sich die hierzu gehörige Stauhöhe aus der Proporzion $MC : MC - aC = \sqrt{NC} : \sqrt{ba}$, oder $1766{,}5 : 1766{,}5 - 156{,}4 = \sqrt{3{,}5} : \sqrt{ba}$, woraus $ba = 2{,}91$ Fuss folgt. Die ganze Wassertiefe in dem Punkte b wird daher $= 2 + 2{,}91 = 4{,}91$ Fuss seyn, wogegen nach der genauen Rechnung die Tiefe an diesem Orte 5 Fuss beträgt. Auf gleiche Art findet man für eine Entfernung $Ca = 315{,}6$ Klafter die ganze Wassertiefe $= 4{,}36$ Fuss, für $479{,}2$ Klafter die Wassertiefe $= 3{,}86$ Fuss, u. s. w. Fig. 14.

§. 254.

Eine vollkommen genaue Auflösung der obigen Aufgabe wird mittelst der unter dem Texte vorkommenden höheren Rechnung gemacht.

Zur Berechnung der gesuchten Stauweiten des 1ten und 2ten Theiles der Frage, wollen wir vorerst die Hülfsgrössen p, μ, ϱ, γ, M und P nach den unter dem Texte aufgestellten Gleichungen berechnen. Nach diesen Gleichungen findet man für die gegebenen Werthe $p = \frac{1}{1789{,}684}$; $\mu = 0{,}017759$; $\varrho = 0{,}784661$, $\gamma = 0{,}982241$, $M = 0{,}538132$ und $P = -1{,}040746$.

Wollte man die beständige Grösse, welche diesem Integral noch zugesetzt werden muss, so bestimmen, dass für $z = a$ der Raum $x = 0$ würde, so wäre diese beständige Grösse unendlich gross, weil $\log(a - a) = \log 0$ einer negativen unendlichen Grösse gleich ist. Es würde daher die Stauweite in dem angenommenen Falle unendlich gross seyn. Um diesen Uibelstand in der Rechnung zu vermeiden, setze man für $x = 0$, die Grösse $z = \beta$, wo β grösser als a seyn muss. Daraus folgt die Gleichung für die Stauweite x zwischen den Wasserhöhen β und z

$$x = \frac{1}{p}\left\{z - \beta + M \, . \, \text{nat} \, . \, \log\left(\frac{z-a}{\beta - a}\right)\sqrt{\frac{\beta^2 + a.\beta + \gamma.a^2}{z^2 + a.z + \gamma.a^2}} + \right.$$
$$\left. + \frac{2P + M}{\sqrt{4\gamma - 1}}\left(\text{Arc.tang}\,\frac{a + 2z}{a\sqrt{4\gamma - 1}} - \text{Arc.tang}\,\frac{a + 2\beta}{a\sqrt{4\gamma - 1}}\right)\right\}.$$

Wenn in dieser Gleichung die Höhe z am Orte des eingebauten Wehres gegeben ist, so lässt sich hieraus die Stauweite x von dem Einbaue bis zu dem Orte, wo die Höhe β des gestauten Flusses vorhanden ist, berechnen, jedoch muss die Höhe β grösser als die ursprüngliche a seyn; denn wollte man $\beta = a$ setzen, so würde die Stauweite, wie schon bemerkt wurde, unendlich gross seyn. Die gestaute Oberfläche des Flusses ist demnach eine Linie, welche sich zwar aufwärts der ursprünglichen Oberfläche des Flusses immer mehr nähert, jedoch dieselbe nur auf einer unendlichen Entfernung berühren kann.

Für die Beantwortung des ersten Theiles der Frage ist die grösste Wassertiefe am Wehre $z = 5{,}5$ Fuss. Setzt man nun in die obige für die Stauweite aufgestellte allgemeine Gleichung die Werthe und zwar $z = 5{,}5$, $\beta = h'$, $a = 2$ Fuss und übersetzt die natürlichen Logarithmen zugleich in briggische, so findet man für die fragliche Stauweite die abgekürzte Gleichung

$$x = 1789{,}684 \left\{ 5{,}148840 - h' + 1{,}239095 \log.\ \text{brig.}\ \frac{\sqrt{(h')^2 + 2h' + 3{,}928964}}{h' - 2} - 0{,}901800 \left(\text{Arc.}\ 75^\circ.14'.57'' - \text{Arc. tang.}\ 0{,}584309\ (1 + h') \right) \right\}.$$

Nach dieser Gleichung findet man, wenn x zugleich auf Klafter reduzirt wird,
für die gestaute Höhe $h' = 5{,}5$; 5; 4,5; 4; 3,5; 3; 2,5; 2,1; 2,05.. Fuss
die zugehörige Stauweite $x = 0$; 156,4; 315,6; 479,2; 650,5; 837,5; 1066,6; 1415,5; 1537,9 Klft.

Für den zweiten Theil der Frage lässt sich die Höhe, auf welche das Wasser durch den Einbau des Wehres für den Fall gehoben wird, wenn der ganze Wasserzufluss über das Wehr abfliessen muss, nach der Gleichung §. 248 für die Stauhöhe berechnen, wenn man in dieser $h = 5{,}5'$, $a = 2'$, $c = 3{,}5$ den Zusammenziehungskoeffizienten $m = 0{,}954$ und $b = B$ setzt, man findet sodann $h - a + \sqrt[3]{\frac{9}{16g}\left(\frac{b.a.c}{m.B}\right)^2} = 4{,}75$ Fuss, um wie viel nämlich der Wasserspiegel gehoben wird. Es ist daher die grösste Wassertiefe am Wehre $z = 2 + 4{,}75 = 6{,}75$ Fuss. Setzt man diesen Werth für z in die allgemeine Gleichung für die Stauweite, und bemerkt, dass die übrigen Werthe für p, γ, M und P ungeändert bleiben, so erhält man für die Stauweiten die abgekürzte Gleichung

$$x = 1789{,}684 \left\{ 6{,}473747 - h' + 1{,}239095 \log.\ \text{brig.}\ \frac{\sqrt{(h')^2 + 2h' + 3{,}928964}}{h' - 2} - 0{,}901800 \left(\text{Arc.}\ 77^\circ.32'.50'' - \text{Arc. tang.}\ 0{,}584309\ (1 + h') \right) \right\}.$$

Nach dieser Gleichung findet man, wenn x zugleich auf Klafter reduzirt wird
für die gestaute Wassertiefe
$h' = 6{,}75$; 6,5; 6; 5,5; 5; 4,5; 4; 3,5; 3; 2,5; 2,1; 2,05 Fuss.
die zugehörige Stauweite
$x = 0$; 76,4; 229,3; 384,4; 540,9; 700,0; 863,6; 1034,9; 1221,9; 1451,0; 1501,7; 1922,3 Klftr.

Für den dritten Theil der Frage dient zur Berechnung der Höhe, auf welche der Wasserspiegel des angeschwollenen Flusses durch das Wehr gehoben wird, die §. 245 für die Stauhöhe x in diesem Falle aufgestellte Gleichung

$\frac{2}{3} x \sqrt{4g\,.\,x} + (a - h) \sqrt{c^2 + 4g\,.\,x} - \frac{a \cdot b \cdot c}{m\,.\,B} = 0$, wenn man nämlich unserm Beispiele zu Folge hierin die Wassertiefe $a = 6$ Fuss, die Höhe des Wehres $h = 5{,}5$, die Geschwindigkeit des Wassers $c = 6$, m wie früher $= 0{,}954$ und $b = B$ setzt. Man findet sodann $x\sqrt{62\,x} + \frac{3}{4}\sqrt{36 + 62\,x} - 56{,}604 = 0$. Die Auflösung dieser Gleichung durch Näherung gibt sodann den Werth für die Erhöhung des Wasserspiegels $x = 3{,}20$. Es ist sonach für die Berechnung der Stauweiten die grösste Wassertiefe am Wehre $z = 6 + 3{,}2 = 9{,}2$ Fuss.

Bevor wir nun zur Berechnung der Stauweiten schreiten können, müssen wir vorerst die in der allgemeinen Gleichung für die Stauweite vorkommenden Koeffizienten

für die Werthe des eben betrachteten Falles nach den hierfür oben gegebenen Gleichungen bestimmen. Setzt man hierin nach dem vorliegenden Falle $a = 6$ und $c = 6$ Fuss, so findet man $p = \frac{1}{1848{,}743}$; $\mu = 0{,}006052$; $\varrho = 0{,}800399$; $\gamma = 0{,}993948$; $M = 1{,}616162$ und $P = -0{,}532669$; diese Werthe und $z = 9{,}2$ Fuss in die allgemeine Gleichung für die Stauweite substituirt gibt nach gehöriger Redukzion

$$x = 1848{,}743 \left\{ 6{,}903407 - h' + 3{,}721351 \text{ brig. log. } \frac{\sqrt{(h')^2 + 6\,h' + 35{,}782128}}{h' - 6} + \right.$$
$$\left. + 0{,}319389 \left(\text{Arc. } 67^\circ . 0' . 49'' - \text{Arc. tang. } 0{,}193231\,(3 + h') \right) \right\}.$$

Nach dieser Gleichung findet man, wenn x zugleich auf Klafter reduzirt wird; für die gestaute Höhe

$h' = 9{,}2$; $8{,}5$; 8; $7{,}5$; 7; $6{,}5$; $6{,}1$; $6{,}05 \cdots$ Fuss

die zugehörige Stauweite

$x = 0$; $316{,}0$; $564{,}6$; $844{,}9$; $1183{,}5$; $1664{,}9$; $2575{,}0$; $2933{,}8 \cdots$ Klafter.

Diese drei berechneten Beispiele über die Stauweiten dürften über die krumme Linie, welche die Oberfläche des Wassers nach dem Längenprofil annimmt, die deutlichste Vorstellung geben, und zugleich zeigen, dass die grösste Stauweite, so weit ihre genaue Kenntniss für die Anwendung wichtig ist, durch die aufgestellte allgemeine Gleichung ziemlich genau begränzt ist, obwohl die Staulinie ihrer Gleichung zu Folge eine Asymptote hat, der sie sich in unendlicher Entfernung nähert, wornach also die grösste oder ganze Stauweite mathematisch unendlich gross wäre.

VI. Kapitel.

Stoss des Wassers und dessen Wirkung auf unterschlächtige Räder.

§. 255.

Die Benützung des Wassers zur Bewegung von Rädern und Mühlwerken soll beiläufig um das Jahr 400 n. Chr. in Anwendung gekommen seyn. Geschichtlichen Mittheilungen zu Folge waren die Mühlen in Rom an den Kanälen, welche das Wasser der Stadt zuführten, angelegt. Als im Jahre 536 der König der Gothen *Vitiges* Rom belagerte, liess derselbe die 14 grossen Wasserleitungen verstopfen und brachte auf diese Art die Mühlen zum Stehen. *Belisar* liess nun die Mühlen auf Fahrzeuge setzen und von der Tiber treiben, woraus allerdings hervorgeht, dass um jene Zeit auch schon die Schiffmühlen bekannt waren. *Ausonius*, welcher um das Jahr 379 lebte, erwähnt einer Mühle, welche an einem kleinen Flusse lag, der in die *Mosel* fällt; hiernach wären die Wassermühlen in Deutschland schon früher eingeführt gewesen.

Das Wasser kann zur Treibung eines Rades oder einer Mühle auf zweifache Art angewendet werden, indem entweder die Schaufeln des Rades der Bewegung des fliessenden Wassers so entgegengesetzt werden, dass dasselbe unterhalb der Radwelle diese Schaufeln trifft; oder auch kann das Wasser oben auf ein Rad geleitet und in Kästen (Zellen) geführt werden, welche sich an dem Umfange desselben befinden. Das Gewicht des Wassers, welches im letztern Falle auf der einen Seite des Rades angebracht ist, verursacht, dass das Rad hierdurch in Bewegung kommt und eine Kraft auszuüben vermag. Hieraus ergibt sich auch die Eintheilung aller Räder, welche entweder unterschlächtig, oder oberschlächtig oder auch mittelschlächtig sind. Bei den erstern wirkt das Wasser bloss durch seinen Stoss, bei den zweiten fällt das Wasser auf das Rad und wirkt durch seinen Druck, bei den mittelschlächtigen Rädern endlich wirkt das Wasser sowohl durch den Stoss als durch den Druck. Die unterschlächtigen Räder werden gewöhnlich an Flüssen mit geringerem Gefälle, die mittelschlächtigen an Flüssen mit grösserem Gefälle, die oberschlächtigen Räder aber gewöhnlich an Bächen, wo das vorhandene Gefälle den Durchmesser des Rades übersteigt, angewendet. An Teichen oder Seen, aus welchen das Wasser durch Schützen abgelassen wird, pflegt man meistens nur unterschlächtige oder mittelschlächtige Räder anzulegen.

Von den unterschlächtigen Rädern gibt es folgende Arten. 1tens. Strauberräder, welche bloss einen Kranz haben, worauf die Schaufeln beiderseits vorstehend aufsitzen. Diese Räder werden gewöhnlich dann angewendet, wenn die Geschwindigkeit des Wassers sehr bedeutend und dagegen der Zufluss desselben nur gering ist. 2tens. Staberräder bestehen aus zwei Kränzen oder Reifen, zwischen welche die Schaufeln eingesetzt werden, ohne über die Kränze hinauszustehen. Diese Räder werden dort angewendet, wo die zu verrichtende Arbeit eine grössere Kraft, demnach eine grössere Schaufelfläche und überhaupt ein stärkeres Rad erfordert. 3tens. Pansterräder erhalten weit grössere Schaufeln, welche desshalb nicht bloss in die Reifen am Umfange des Rades eingesetzt, sondern noch ein- oder zweimal unter sich verbunden (verriegelt) werden. Pansterräder werden dann gebraucht, wenn die Geschwindigkeit des Wassers klein ist und man demnach durch eine grössere Fläche der Schaufeln die gehörige Kraft zu bewirken genöthigt wird. Pansterräder sind gewöhnlich so eingerichtet, dass ihre beweglichen Achsenlager bei höherem Wasserstande gehoben werden, um auch bei grossem Wasser mahlen zu können. Das Aufziehen geschieht entweder durch Schrauben oder Hebel. Im ersten Falle wird die Vorrichtung ein Zugpanster, im zweiten ein Stockpanster genannt. Mit einem solchen Pansterrad ist manchmal ein Schwimmgerinne verbunden, welches mit dem Rade zugleich in die Höhe gezogen wird, um den Abfluss des Wassers unter dem Rade zu verhindern.

Fig. 16. Tab. 55.

Fig. 17.

Fig. 18.

Man pflegt den unterschlächtigen Rädern, so oft es das Gefälle zulässt, einen Kropf zu geben, in welchem Falle dieselben Kropfräder genannt werden. Endlich werden unterschlächtige und mittelschlächtige Räder beinahe immer in ein Gerinne gestellt, welches gewöhnlich aus zwei hölzernen mit einem Boden versehenen Wänden besteht und dazu dient, das Wasser zusammen zu halten und mit möglichst kleinem Verluste auf das Rad zu führen. Die Gerinne werden mit Schützen versehen, um das Wasser nach Bedarf mehr oder minder zufliessen zu lassen, oder auch ganz abzusperren.

§. 256.

Die Theorie der unterschlächtigen Räder beruht auf folgenden Grundsätzen:

Wird eine Fläche f von fliessendem Wasser gestossen, so übt dasselbe auf diese Fläche einen Druck aus und der letztere lässt sich immer durch ein Gewicht messen, welches diese Fläche nach entgegengesetzter Richtung ziehen oder im Gleichgewichte erhalten kann. Man pflegte sonst bei dem Stosse folgende Fälle anzunehmen:

I. Wenn die gestossene Fläche unbeweglich bleibt und zwar 1tens: Wenn alles Wasser zum Stosse kommt z. B. bei einem isolirten Strahle, der aus einem Gefässe gegen eine entgegengesetzte unbewegliche Fläche winkelrecht herausschiesst und parallel zur Fläche abfliessen muss. 2tens: Wenn das unbewegliche Bret oder die Schaufel in einem Flusse steht, demnach die gestossene Fläche gegen den Querschnitt des Flusses sehr klein ist, und ein bedeutender Theil des Wassers auf beiden Seiten der Schaufeln ausweichen kann.

II. Bewegt sich aber zugleich auch die gestossene Fläche, so kann wieder 1tens: der Stoss in einem begränzten Gerinne (Schussgerinne, Mühlgerinne), wo alles

Wasser zum Stosse kommen soll oder 2tens: in einem freien Flusse vor sich gehen. Wir wollen nun einen jeden dieser Fälle betrachten, nach theoretischen Grundsätzen berechnen und mit den hierüber angestellten Erfahrungen vergleichen.

§. 257.

Um die Grösse des Stosses eines **isolirten Wasserstrahles** auf eine **ruhende Fläche** zu finden, befestige man nahe an der Ausflusöffnung eines Gefässes eine Fläche oder Tafel, an welche der ausfliessende Wasserstrahl stossen soll. Diese Fläche sey bei A beweglich und mit einem Hebel D C unter rechtem Winkel verbunden; zugleich werde durch das Gewicht p das Gleichgewicht am unbelasteten Hebel hergestellt. Beträgt nun die Entfernung AB vom Umdrehungspunkte bis zur Mitte der Ausflussöffnung des Wassers eben so viel als AC, oder die Entfernung, auf welcher das Gewicht P, womit der Stoss gemessen wird, angebracht ist, und wird, nachdem die Oeffnung des mit Wasser gefüllten Gefässes geöffnet worden, nach und nach bei C so viel Gewicht zugelegt, bis die Fläche B unbeweglich und senkrecht stehen bleibt, so wird auch das Gewicht P den jedesmaligen Stoss oder Druck des Wassers gegen die Fläche anzeigen. Durch solche Versuche hat man gefunden, dass **der Wasserstoss oder P zweimal so gross ist als das Gewicht einer Wassersäule, welche zu ihrer Grundfläche die Fläche des zusammengezogenen Strahles f und zur Höhe die Höhe h des Wasserstandes über der Mitte der Ausflussöffnung hat**, oder $P = 56{,}4 . 2 f . h$. Die Versuche, welche der *Abbé Bossut* und Herr *Langsdorf* hierüber angestellt haben, geben genau diese Resultate, jedoch wurde hierbei bemerkt, dass der Durchmesser der gestossenen Fläche wenigstens viermal so gross als der Durchmesser des ausfliessenden Wasserstrahles seyn müsse. Wenn aber die gestossene Fläche kleiner ist, so findet auch diese Formel nicht mehr Statt. Nach den Versuchen von Herrn *Langsdorf* ist der Stoss nur halb so gross, oder $P = 56{,}4 f . h$ wenn die gestossene Fläche dem Querschnitte des Strahles vor seiner Ausbreitung **gleich** ist.

Fig. 1. Tab. 56.

Der wissenschaftliche Grund der angeführten ersten Erfahrung, wo nämlich alles Wasser aus einem isolirten Strahle zum Stosse kommt, ist folgender: Bezeichnet c die Geschwindigkeit und f die zusammengezogene Fläche des ausfliessenden Wassers, so ist $56{,}4 . f . c . dt$ das Gewicht der Wassermenge, welche in der unendlich kleinen Zeit dt ausfliesst. Würde dieselbe Wassermenge durch sich selbst oder durch ihr eigenes Gewicht bewegt, so würde sie in der Zeit dt die Geschwindigkeit $2g . dt$ erlangen; nach den allgemeinen Gesetzen der Mechanik wird nun die Kraft P, welche im Stande seyn soll, die Geschwindigkeit des Wassers ganz aufzuhalten oder dem Wasser nach der entgegengesetzten Richtung die Geschwindigkeit c zu ertheilen, aus folgender Proporzion bestimmt: $56{,}4 f . c . dt : 2g . dt = P : c$, woraus der Stoss des Wassers

$P = 56{,}4 f \cdot \frac{c^2}{2g} = 56{,}4 f . 2h$ folgt*). Die Uibereinstimmung dieser Theorie mit der Erfah-

*) Man pflegt gegen diesen Beweis einzuwenden, dass bei demselben auf den Weg des Wassers bei seinem Hinzuströmen gegen die unbewegliche Fläche keine Rücksicht genommen worden, welche

rung bestättigen alle hierüber angestellten Versuche, bei welchen übrigens nur noch zu beobachten ist, dass die Richtung des Wasserstrahles genau winkelrecht gegen die Tafel gestellt seyn muss. Hätte nämlich die Tafel eine schiefe Stellung gegen den Strahl, so würde die Geschwindigkeit des Wassers von der Tafel nicht ganz, sondern nur derjenige Theil hiervon aufgefangen, welcher bei der Zerlegung der Geschwindigkeit die winkelrechte Stellung hat.

doch aus dem Grunde nicht ausser Acht gelassen werden kann, weil das Wasser zu seiner Ableitung nach der Seite auch eine Kraft nöthig hat, und wenn diese Ableitung gehindert wird, das Wasser sich vor der Schaufel anhäufen und auf solche Art den Stoss bis ins Unendliche vermehren würde. Um diesem Einwurfe zu begegnen, wollen wir den gegen die unbewegliche Schaufel zufliessenden Wasserstrahl in eine unbestimmte Anzahl einzelner Fäden eintheilen und hierunter bloss einen solchen Wasserfaden a b m n auf seinem Wege gegen die ruhende Fläche betrachten. Fig. 2. Tab. 56.

Ist a b m n der Weg, welchen das Wassertheilchen a b verfolgt und die Geschwindigkeit dieses Theilchens in a $=$ c, demnach der Raum a b für die Zeit $dt = c.dt$, endlich die Querschnittsfläche desselben bei a $=$ f, so wird sein kubischer Inhalt $dM = f.c.dt$ seyn. Der Winkel, welchen die Richtung a b d seiner Bewegung mit der Fläche d q macht, sey $= 90$ Grad. Wenn nun das Wassertheilchen auf seinem Wege bis m gekommen ist, sey seine Geschwindigkeit $= v$, seine Querschnittsfläche $= \varphi$, demnach der Raum, den das Wasser bei m einnimmt $= \varphi.v.dt = f.c.dt$ und der Winkel, den seine Richtung mit der entgegenstehenden Fläche macht, $dqm = \lambda$. Wir können nun die Bewegung $mn = ds = v.dt$ in die winkelrechte $mp = v.dt.\mathrm{Sin}\,\lambda$ und in die zur Fläche parallele $mo = v.dt.\mathrm{Cos}\,\lambda$ zerlegen. Der Bewegung m p steht von Seite der unbeweglichen Fläche die Kraft K entgegen, welche wir zu bestimmen haben. Nach den allgemeinen Gesetzen der Mechanik haben wir demnach $dM : 2g.dt = dK : -d(v.\mathrm{Sin}\,\lambda)$, woraus $dK = -\frac{dM}{2g.dt}\,d(v.\mathrm{Sin}\,\lambda)$ folgt. Das Integral dieser Gleichung gibt die Summe aller von a bis m entgegenwirkenden Kräfte $K = \frac{dM}{2g.dt}(\mathrm{Konst.} - v.\mathrm{Sin}\,\lambda)$. Für den Punkt a, wo die Richtung noch ungeändert ist, haben wir $K = 0$ und $v.\mathrm{Sin}\,\lambda = c$; demnach ist die vollständige Gleichung $K = \frac{dM}{2g.dt}(c - v.\mathrm{Sin}\,\lambda)$ oder wenn wir statt d M das gleichbedeutende Gewicht $56{,}4\,f.c.dt$ setzen, so haben wir auch $K = \frac{56{,}4\,f.c}{2g}(c - v.\mathrm{Sin}\,\lambda)$.

Nach der senkrechten Richtung wird das Wassertheilchen bloss von der Schwere senkrecht herabgezogen, seine Bewegung ist demnach bloss jene der freifallenden Körper und $v.\mathrm{Cos}\,\lambda = 2g.t$, demnach $\frac{v^2.\mathrm{Cos}^2\lambda}{4g} = h$ nämlich der Höhe, wie weit das Wasser auf seinem Wege herabgegangen ist.

Da diese Gleichungen für alle Wasserfäden, in welche der Strahl eingetheilt wird, ihre Richtigkeit haben, so ergibt sich von selbst, dass der Druck des Wasserstrahles an die entgegenstehende Fläche erhalten wird, wenn das Gewicht der in einer Sekunde zufliessenden Wassermasse $56{,}4\,f.c$ noch mit dem Unterschiede der Geschwindigkeiten $c - v.\mathrm{Sin}\,\lambda$ multiplizirt und mit der Geschwindigkeit $2g$, welche die Schwere allen Körpern in einer Sekunde gibt, dividirt wird. Ist nun die entgegenstehende Fläche so gross, dass alle Theile parallel zu derselben abfliessen müssen, so ist die Neigung gegen die Fläche $\lambda = 0$, also auch $v.\mathrm{Sin}\,\lambda = 0$, die Geschwindigkeit, welche das Wasser zu gleicher Zeit von der Schwere erhalten hat, möge eine Grösse haben, welche sie wolle. In diesem Falle bleibt uns also die Gleichung $K = 56{,}4\,f \cdot \frac{c^2}{2g}$, oder der Stoss ist so gross, als das Gewicht einer Wassersäule, welche die Querschnittsfläche des zusammengezogenen Strahles zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe $2 \cdot \frac{c^2}{4g}$ zur Höhe hat.

§. 258.

Die Beobachtung, dass die Stosskraft des Wassers gegen unterschlächtige Räder vermehrt wird, wenn man dasselbe in Gerinne einschliesst und dadurch das Abfliessen neben dem Rade hindert, führte bald auf die Konstrukzion der gegenwärtig üblichen Mühlgerinne. Man glaubte in diesem Falle, weil das Wasser die Schaufeln nur mit der Differenz der Geschwindigkeit c — v treffen kann, auch die obige Formel für den Wasserstrahl an die ruhende Schaufel anwenden zu können, wenn man statt c den genannten Unterschied der Geschwindigkeiten c — v setzt, wo c die Geschwindigkeit des Wassers und v jene des Rades bezeichnet. Hiernach würde der Stoss in einem solchen Gerinne $= \frac{56{,}4\, f\,(c - v)^2}{2g}$ seyn.

Parent stellte diese Formel für die Stosskraft des Wassers in Gerinnen in den *Mémoires de l' academie des sciences pour l' année* 1704 auf, und rechtfertigte sie bloss dadurch, weil das Wasser die Radschaufeln, die sich mit der Geschwindigkeit v bewegen, nur mit dem Uiberschusse seiner Geschwindigkeit oder mit c — v erreichen könne. Er setzte sonach das Maass der Bewegung oder das Produkt aus der Kraft in die Geschwindigkeit der Radschaufeln dem Ausdrucke $v\,(c - v)^2$ proporzional und leitete hieraus ab, dass dasselbe ein Maximum wird, wenn $v = \frac{1}{3}\, c$ ist. Diese Bestimmung widerspricht aber der Erfahrung, welche schon von *Mariotte* angestellt und seitdem von vielen andern Hydraulikern wiederholt worden; diese zeigte nämlich, dass die Geschwindigkeit für den vortheilhaftesten Betrieb der Mühlen grösser als $\frac{1}{3}$ c und beinahe $= \frac{1}{2}$ c seyn müsse, wie wir später umständlicher sehen werden. Die Unrichtigkeit hiervon lässt sich aber auch aus der einfachen Betrachtung ableiten, dass die Wassermenge, welche in einer Sekunde in das Schussgerinne fliesst, dem Produkte 56,4 f . c gleich ist und die nämliche bleibt, ob sich das Rad im Schussgerinne geschwind oder langsam bewegt; die zufliessende Wassermenge kann demnach dem Produkte 56,4 f (c — v) nicht gleich seyn. Wir sehen hieraus, dass die Annahme von *Parent*, welche zu jener Zeit von den meisten hydraulischen Schriftstellern angenommen wurde, sowohl von der Erfahrung als von der Theorie widerlegt werde.

Um in dieser Hinsicht einen verlässigern Maasstab für die vortheilhafteste Geschwindigkeit eines Wasserrades und für das Maass des grössten mechanischen Momentes zu erhalten, haben schon gegen das Ende des verflossenen Jahrhundertes *Smeaton* und *Bossut* Versuche angestellt, hierbei ein möglichst genau passendes kleines Rad in ein Mühlgerinne gestellt, an der Welle desselben eine Schnur befestigt und die Gewichte untersucht, welche von diesem Rädchen bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Wassers aufgezogen wurden. Aus der Vergleichung der auf eine bestimmte Höhe aufgezogenen Gewichte und der hierzu erforderlichen Zeit, sollte der Maasstab für das in jedem Falle bewirkte Bewegungsmoment und für die vortheilhafteste Benützung des Wassers abgeleitet werden. Man konnte jedoch die gefundenen Resultate mit einander nicht in Uibereinstimmung bringen, indem die Werthe von *Bossut* der halben Geschwindigkeit, jene von *Smeaton* aber dem Drittel der Geschwindigkeit am nächsten kamen.

Da diese Versuche nur durch eine gründliche Theorie gehörig beleuchtet werden konnten, so hat mein Vater zuerst in dem zweiten Bande der Abhandlungen der k. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften. Prag, 1795, eine umständliche Theorie des Wasserstosses in Schussgerinnen mit Rücksicht auf Erfahrung und Anwendung bekannt gemacht und zugleich aus Mangel genügender anderweitiger Erfahrungen eine Reihe von Versuchen angestellt, welche die Theorie vollkommen rechtfertigen. In den nachfolgenden §. §. wird diese Theorie mit den neuern seit dem Jahre 1795 hierzu gemachten Zusätzen mitgetheilt.

§. 259.

Zur Bestimmung des Wasserstosses oder des Druckes, welchen das in Bewegung befindliche Wasser gegen eine nicht ruhig stehende, sondern mit geringerer Geschwindigkeit vorausgehende Fläche ausübt, wollen wir uns diese Fläche im Schussgerinne senkrecht aufgestellt denken. Diese Fläche gehe mit einer Geschwindigkeit v fort, die kleiner als die Geschwindigkeit c des Wassers ist und sie passe zugleich so vollkommen in das Gerinne, dass sie dem nachfolgenden Wasser keinen Ausweg gestattet, sondern dasselbe nöthigt, seine Bewegung nur mit der Geschwindigkeit v fortzusetzen. Da wir nicht wohl annehmen können, dass das Wasser seine Geschwindigkeit c plötzlich verlassen und dagegen die Geschwindigkeit v eben so schnell annehmen werde, so wollen wir bei Voraussetzung eines horizontalen Gerinnes das Wasser bei seiner Ankunft vor der bewegten Fläche in mehrere senkrechte Schichten AabB, BbcC, CcdD eintheilen, dann die Geschwindigkeit, womit das Wasser in der kleinen Zeit dt den Raum ab beschreibt $= c$, endlich jene Geschwindigkeit, womit die verminderten Räume bc, cd, de und ef beschrieben werden, mit c', c'', c''' und v bezeichnen. Setzen wir nun die Querschnittsfläche des herbeifliessenden Wassers $Aa = f$, so ist der kubische Inhalt des im Raume AabB enthaltenen Wassers $dM = f.c.dt$ und wir sehen, dass dasselbe Wasser auf seinem Wege von b nach c, dann von c nach d, von d nach e die Räume $c'.dt$, $c''.dt$, $c'''.dt$ zurücklegt. Bezeichnen wir auf gleiche Art die Querschnittsfläche $Bb = f'$, die Querschnittsfläche $Cc = f''$ und die letzte Fläche $Ee = \varphi$, so haben wir für eine jede dieser Stellungen Fig. 3. Tab. 56.

$dM = f.c.dt = f'.c'.dt = f''.c''.dt = \varphi.v.dt$, weil wir annehmen, dass dasselbe Element sich nach und nach in diesen Stellungen befindet. Da nun das Element bei seinem Fortrücken von Aa nach Bb, die Geschwindigkeit c in die Geschwindigkeit c' verändert und da der Winkel, den die Richtung des bewegten Elementes mit der entgegenstehenden Fläche bildet, wegen der senkrechten Stellung dieser Fläche in dem horizontalen Gerinne beständig ein rechter bleibt, sonach $\sin\lambda = 1$ ist, so ist nach §. 257 der Druck, den das Element dM gegen das vorausgehende ausübt $= \frac{dM}{2g.dt}(c - c')$. Weil aber das zweite Element von diesem Drucke nicht beschleunigt wird und in seiner Bewegung selbst den Verlust $c' - c''$ an seiner Geschwindigkeit erleidet, so ist auf gleiche Art der Druck, welchen dieses zweite Element für sich gegen die Fläche ausübt $= \frac{dM}{2g.dt}(c' - c'')$, folglich der Druck von beiden $= \frac{dM}{2g.dt}(c - c'')$. Eben so finden

Fig. 3. Tab. 56. wir den gesammten Druck der drei ersten Elemente $= \frac{dM}{2g.dt}(c - c''')$ und wenn dieses bis zur entgegenstehenden Fläche, die sich mit der Geschwindigkeit v bewegt, fortgesetzt wird, so finden wir den gesammten Druck an diese Fläche von allen Elementen, die vor dieser Fläche ihre Geschwindigkeiten ändern $= \frac{dM}{2g.dt}(c - v)$.

Setzen wir nun statt d M das Gewicht 56,4 f . c . d t, so ergibt sich der gesammte Stoss an die Fläche $= 56{,}4\, f \cdot \frac{c}{2g}(c - v)$. Aus dieser Gleichung sehen wir, dass der Grund, warum der Wasserstoss an eine in Bewegung befindliche Fläche der Differenz der Geschwindigkeiten c — v proporzional sey, nicht in dem Umstande liegt, weil das Wasser die vorausgehende Fläche nur mit der Geschwindigkeit c — v erreichen kann; diess liegt vielmehr darinn, weil dem Wasser bei seinem Drucke an die Fläche noch die Geschwindigkeit v übrig bleibt. Hierbei muss aber bemerkt werden, dass das Wasser in dem angeführten Falle wegen Veränderung seiner Geschwindigkeit von c in v vor der entgegenstehenden Fläche die Höhe $Ee = Aa \cdot \frac{c}{v}$ einnehmen werde, folglich in diesem Falle seine Oberfläche auf die Höhe $Aa \cdot \frac{c}{v} - Aa = Aa\left(\frac{c - v}{v}\right)$ gehoben werden müsse. Hieraus entsteht ein Rückstau, welcher dem Wasserstosse zur Last fällt. Dieser Umstand muss demnach in horizontalen Mühlgerinnen berücksichtigt und entweder die Kraft des Stosses um diesen Rückstau vermindert, oder ein anderer Weg gezeigt werden, wodurch der Rückstau entfällt. Hierüber wird in der Folge mehr gehandelt werden.

§. 260.

Bei der vorhergehenden Rechnung haben wir angenommen, 1tens: dass die senkrecht entgegenstehende Fläche beständig vorhanden sey und 2tens: dass dem Wasser gar kein Ausweg zur Seite oder unter dieser Fläche gestattet werde.

Diese beiden Umstände finden aber bei unsern unterschlächtigen Wasserrädern nicht Statt, indem die Schaufeln durch die Umdrehung des Rades den Wasserspiegel bei ihrem Eintritt in das Wasser nur berühren, sich dann immer tiefer in dasselbe einsenken und die senkrechte Stellung nur während eines Augenblickes unter dem Mittelpunkte des Rades einnehmen, von wo sie sodann wieder in die Höhe steigen. Wir sehen hieraus, dass diese Bewegung der Schaufeln dem Wasser sehr vielen Spielraum zu seinem ungehinderten Abflusse gestatte. Auch ist die Geschwindigkeit, womit die verschiedenen Punkte der Radschaufeln der Bewegung des Wassers ausweichen, sehr verschieden; sie ist nämlich an der Peripherie des Rades am grössten, und näher bei dem Mittelpunkte nach Verhältniss des kleinern Halbmessers auch kleiner.

Es sey die Geschwindigkeit an der äussern Peripherie B des Rades $= V$, sonach der Raum, welcher während einer sehr kleinen Zeit beschrieben wird
Fig. 4. $De = D'e' = Bb = V.dt$. Wenn wir diese Bewegung D e in die senkrechte D g und in die horizontale D d zerlegen, so haben wir wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke D d e und C A D die Proporzion $De : Dd = DC : CA$, also $Dd = V \cdot dt \cdot \frac{CA}{CD}$.

Wenn wir auf gleiche Art den Raum A a suchen, welcher in derselben Zeit an der innern Peripherie zurückgelegt wird, so ist wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke C A a und C B b nunmehr C B : C A = B b : A a, also $A a = \frac{B b . C A}{C B} = \frac{V . d t . C A}{C B}$. Fig. 4. Tab. 56.
Weil nun C D = C B und D e = B b = V . d t ist, so finden wir D d = A a und auf gleiche Art finden wir für den Punkt D' auch D' d' = A' a' und so für alle andern Punkte. Hieraus folgt, dass die Geschwindigkeiten, womit die Punkte D, D' der Radschaufeln dem Wasser nach der horizontalen Richtung ausweichen, den Geschwindigkeiten in den Punkten A, A' derselben Radschaufeln in ihrer senkrechten Stellung gleichkommen.

Setzen wir nun die Geschwindigkeit der Radschaufeln für den Mittelpunkt A' = v und die Höhe derselben A B = β, so ist die Geschwindigkeit in $A = v \cdot \frac{C A}{C A'} = v\left(1 - \frac{\beta}{2 R}\right)$, wenn der Halbmesser C A' = R gesetzt wird. Eben so ist die Geschwindigkeit der Schaufel in $B = v\left(1 + \frac{\beta}{2 R}\right)$. Weil aber β im Vergleiche mit 2 R sehr klein ist und wir demnach den Bruch $\frac{\beta}{2 R}$ gegen 1 vernachlässigen können, so ergibt sich hieraus, dass wir nicht nur die Geschwindigkeiten in A und B gleich annehmen können, sondern auch, dass die Radschaufeln in den Punkten D und D' dem Wasser nach der horizontalen Richtung mit der gleichen Geschwindigkeit v ausweichen.

§. 261.

Wir haben also nur noch diejenige Wassermenge zu suchen, welche den Radschaufeln in ihren verschiedenen Stellungen wirklich begegnet, und wie viel davon zwischen den Schaufeln unbenützt mit der unveränderten Geschwindigkeit c entgehet.

Es sey Z z der Boden des Schussgerinnes und Y y die Oberfläche des Wassers; Fig. 5.
die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Mittelpunkte der Schaufeln im Kreise bewegen, sey = v, und die Geschwindigkeit des Wassers im Schussgerinne = c. Wenn die Schaufel bei O die Oberfläche des Wassers berührt, so ist O der erste Punkt, an welchen das Wasser anstösst. Setzen wir nun die Entfernung der Schaufeln P O = O N = N M = E, und die Zeit, in welcher der Raum P O vom Rade zurückgelegt wird = t, so ist wegen der gleichförmigen Bewegung $t = \frac{E}{v}$. Wenn nun das Wasser an der Oberfläche in derselben Zeit den Raum L O mit der Geschwindigkeit c zurücklegt, so ist auch $t = \frac{L O}{c}$, folglich $\frac{L O}{c} = \frac{E}{v}$ und daher $L O = E \cdot \frac{c}{v}$. Weil nun der Punkt L in derselben Zeit nach O kommt, in welcher P nach O gelangt, so wird zwischen der Entfernung O w der Schaufeln nur die Länge des Wasserfadens $L O = E \cdot \frac{c}{v}$ eingeschlossen, weil das Wasser zwischen L und Y schon zwischen die zwei nachstehenden Schaufeln gefangen wird, folglich den Punkt O nicht mehr treffen kann und von dem Punkte P aufgehalten wird.

Fig. 5. Tab. 56. Auf gleiche Art ist nach Verlauf der Zeit t, nach welcher nämlich die Schaufel Oo in die Stellung Nn kommt, der Punkt N der erste, welcher vom Wasser in der Richtung KN getroffen wird, und die Länge $KN = E \cdot \frac{c}{v}$ ist diejenige, welche während der Bewegung der Schaufel aus der Stellung Nn in die Stellung Mm zwischen N und ν eingeschlossen wird. Auf dieselbe Art wird der Wasserfaden $JM = E \cdot \frac{c}{v}$ in den Raum $M\mu$ eingeschlossen.

Hieraus erhellet, dass zwischen der Schaufel Oo und Pp während der Bewegung des Punktes O bis A die in dem Raume ONMAHJKL befindliche Wassermenge eingeschlossen wird und an die Schaufelfläche Oo während ihrer Bewegung durch das Mühlgerinne von O nach A bis U wirken kann.

Wir wollen nun den Punkt γ suchen, in welchem der Punkt L des Wassers die Schaufel Oo in der Stelle γ erreicht. Weil die Zeit, in welcher der Raum $L\gamma$ von dem Wasser mit der Geschwindigkeit c beschrieben wird, eben so gross seyn muss, als die Zeit, in welcher der Raum $O\gamma$ mit der Geschwindigkeit v von der Schaufel zurückgelegt wird, so haben wir $\frac{L\gamma}{c} = \frac{O\gamma}{v}$ und weil $L\gamma = LO + O\gamma$, so ist auch $\frac{LO}{c} + \frac{O\gamma}{c} = \frac{O\gamma}{v}$, woraus $O\gamma = LO\left(\frac{v}{c - v}\right)$ folgt. Oben wurde $LO = E \cdot \frac{c}{v}$ gefunden. Demnach ist $O\gamma = E\left(\frac{c}{c - v}\right)$. Auf gleiche Art findet man die Entfernung $N\varphi$, auf welcher der Punkt K die Schaufel in φ erreicht, ebenfalls $= E\left(\frac{c}{c - v}\right)$. Wenn nun der Punkt φ mit T zusammenfällt, so sehen wir, dass alle zwischen L und K liegenden Wasserpunkte die Schaufel zwischen $\gamma\,\varphi$ treffen, folglich die ganze Wassermenge LONK, welche zwischen den beiden Stellungen der Schaufeln Oo und Nn eingefangen wurde, auch die Schaufel Oo vor ihrem Austritte aus dem Wasser erreichen werde, dass sonach die ganze Wassermasse deren Querschnitt $LONK = LO \,.\, a\alpha$ ist, statt der Geschwindigkeit c die Geschwindigkeit v annehmen müsse.

Werden auf gleiche Art die Punkte gesucht, in welchen die Wasserpunkte J und H die Schaufeln Mm und Aa treffen würden, wenn sich diese mit ihrer Geschwindigkeit v längst des Gerinnes fortbewegen könnten, ohne früher nach der Richtung der Peripherie aus dem Wasser treten zu müssen, so findet man hierfür dieselbe Entfernung $N\varphi = M\chi = A\psi = E\left(\frac{c}{c - v}\right)$. Weil aber in diesem Falle die Punkte χ und ψ ausserhalb der Kreislinie AST fallen, folglich die Schaufel nicht mehr treffen können, so wollen wir umgekehrt den Punkt i suchen, welcher die Eigenschaft hat, dass i in derselben Zeit nach S kommt, in welcher M nach S gelangt. Hierzu dient uns die Gleichung $\frac{iM + MS}{c} = \frac{MS}{v}$, woraus $iM = MS\left(\frac{c - v}{v}\right)$ folgt. Nach dem obigen haben wir $KN = NT\left(\frac{c - v}{v}\right)$. Aus diesen beiden Gleichungen sieht man, dass die Länge des Wasserfadens, der wirklich zum Stosse kommt, oder welcher die betreffende Schaufel bei ihrem Austritte noch trifft, für einen jeden Punkt der Pe-

ripherie zwischen N und A erhalten werde, wenn die zugehörige Sehne mit $\frac{c-v}{v}$ Fig. 5. Tab. 56.
multiplizirt wird. Demnach wird die Summe aller dieser Wasserfäden dem Produkte aus der Fläche $N\alpha TA$ mit $\frac{c-v}{v}$ gleich seyn. Weil wir aber die Fläche $N\alpha TA = \frac{2}{3} NT \,.\, A\alpha$ setzen können, so ist die zwischen N und A zum Stosse kommende Wassermenge $= \frac{2}{3} NT \cdot A\alpha \cdot b \left(\frac{c-v}{v}\right)$. Vorhin haben wir aber $NT = E\left(\frac{c}{c-v}\right)$ gefunden; also wird die zwischen N T A zum Stosse kommende Wassermenge $= \frac{2}{3} E \cdot \frac{c}{v} \cdot A\alpha \,.\, b$ seyn. Wird nun hierzu noch die zwischen O und N zum Stoss gelangende Wassermenge zugesetzt, so erhalten wir die gesammte Wassermenge, welche an alle im Wasser befindliche Schaufeln stösst $= \frac{E.c.b}{v}(a\alpha + \frac{2}{3}\alpha A) =$ $= \frac{E \cdot c \cdot b}{v}(aA - \frac{1}{3}\alpha A) = \frac{E \cdot c \cdot b}{v} \cdot aA\left(1 - \frac{\alpha A}{3\,aA}\right)$ (I). Nun verhält sich aber in dem kleinen Kreisbogen O N A T U die Linie $\alpha A : aA = NT^2 : OU^2$. Hierin ist $NT = E\left(\frac{c}{c-v}\right)$ und wenn wir die Anzahl Schaufeln, die zu gleicher Zeit im Wasser gehen $= n$ setzen, so ist $OU = n \,.\, E$; wir erhalten demnach $\frac{\alpha A}{aA} = \frac{NT^2}{OU^2} = \frac{c^2}{(c-v)^2 \,.\, n^2}$.

Demnach ist die zum Stoss gelangende Wassermenge $= \frac{E \cdot c \cdot b}{v} \cdot a\left(1 - \frac{c^2}{3\,(c-v)^2 \,.\, n^2}\right)$, wenn wir nämlich die Höhe des Wassers im Schussgerinne $aA = a$ setzen. Weil aber diese Wassermenge in der Zeit $\frac{E}{v}$ anstosst, in welcher nämlich jede Schaufel in die Stelle der nächst vorausgehenden tritt, so können wir nunmehr auch die Wassermenge bestimmen, welche in jeder Sekunde zum Stoss gelanget. Wir haben nämlich $\frac{E^{Sek.}}{v} : 1^{Sek.} = \frac{E \cdot c \cdot b}{v} \cdot a\left(1 - \frac{c^2}{3\,(c-v)^2 \,.\, n^2}\right)$: zur gesuchten Wassermenge $=$

$$= a \,.\, b \,.\, c\left(1 - \frac{c^2}{3\,(c-v)^2 \,.\, n^2}\right).$$

Bei dieser Gleichung ist aber zu bemerken, dass αA kleiner als aA, folglich auch NT kleiner als OU, oder $E\left(\frac{c}{c-v}\right)$ kleiner als $n \,.\, E$ folglich die Anzahl n der im Wasser gehenden Schaufeln grösser als der Quozient $\frac{c}{c-v}$ seyn müsse, denn wäre $NT = OU$, folglich $\alpha A = aA$, so würde die in $1^{Sek.}$ anstossende Wassermenge nach der Gleichung (I) nur $= a \cdot b \cdot c\,(1 - \frac{1}{3}) = \frac{2}{3} a \cdot b \cdot c$ seyn. Aus dem Umstande, dass n grösser als $\frac{c}{c-v}$ seyn muss, folgt, dass die Anzahl der zu gleicher Zeit im Wasser gehenden Schaufeln n um so grösser seyn müsse, je grösser $\frac{v}{c}$ ist, oder je mehr die Geschwindigkeit der Schaufeln der Geschwindigkeit des Wassers nahe kommt. Wäre nämlich $v = c$, so würde auch eine unendlich grosse Anzahl von Schaufeln nicht hinreichen, um das zwischen den Schaufeln eingeschlossene Wasser einem wirksamen Stosse zuzuführen. Die Wichtigkeit dieser Bemerkung für den praktischen Gebrauch oder für jeden Fall, wo mittelst unterschlächtiger Räder eine Arbeit bewirkt werden soll, leuch-

tet von selbst ein, obgleich dieselbe in den bisherigen hydraulischen Schriften und Versuchen noch nicht berücksichtigt wurde.

§. 262.

Da wir nun gefunden haben, dass rücksichtlich des durch die Kreisbewegung der Schaufeln erfolgenden Ein- und Austrittes aus dem Wasser nur die Wassermenge $a \cdot b \cdot c \left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 n^2}\right)$ an die Schaufeln stossen kann, so ergibt sich der wirkliche Stoss oder Druck des Wassers $K = 56{,}4\ a.b.c \left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 n^2}\right)\left(\frac{c-v}{2g}\right)$.

Fig. 6. Tab. 56. Wir wollen nun die **Grösse der Arbeit** untersuchen, welche in einer bestimmten Zeit von dieser Kraft K bewirkt werden kann. Um diess mit der nöthigen Deutlichkeit zu thun, wollen wir annehmen, dass eine Last Q mittelst eines über eine feste Rolle gehenden Seiles auf eine gegebene Höhe H aufgezogen werden solle. Der Halbmesser der Welle sey $= r$, der Halbmesser des Wasserrades von der Mitte der Welle bis zur Mitte der Schaufeln $= R$, so ist nach den bekannten Gesetzen der Statik $Q \cdot r = 56{,}4\ a \cdot b \cdot c \left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 n^2}\right)\left(\frac{c-v}{2g}\right) R$. Aus der Geschwindigkeit der Radschaufeln v ergibt sich die Geschwindigkeit, mit welcher das Seil auf die Welle aufgewunden, und die Last gehoben wird $= \frac{v \cdot r}{R}$; mithin ist die Zeit eines Aufzuges $= \frac{H \cdot R}{v \cdot r}$.

Daraus folgt die Anzahl der Aufzüge z. B. in einer Stunde oder 3600 Secunden, wenn nämlich die Wasserkraft ununterbrochen und nur allein zur Hebung der Last verwendet wird, $= \frac{3600\ v \cdot r}{H \cdot R}$. Wird nun diese Anzahl Aufzüge mit der jedesmal aufgezogenen Last Q multiplizirt, so ist der Effekt $= Q \cdot \frac{3600\ v \cdot r}{H \cdot R}$ und wenn wir an die Stelle von Q seinen Werth setzen, so ist der Effekt $= 3600 \cdot 56{,}4\ a \cdot b \cdot c \left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 n^2}\right)\left(\frac{c-v}{2g}\right)\frac{v}{H}$, wo abermals die Verhältnisse der Hebelsarme aus der Rechnung entfallen, so wie wir es bereits bei der Anwendung der thierischen Kräfte gefunden haben.

Diese Gleichung für den Effekt zeigt uns, dass derselbe von dem Produkte der 3 Faktoren $\left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 n^2}\right)(c-v)\, v$ abhängt, wovon der erste durch die Grösse der anstossenden Wassermenge, der zweite durch den Druck des Wassers an die Radschaufeln und der dritte von der Geschwindigkeit dieser Radschaufeln bestimmt wird. Soll demnach die Wirkung des Wassers zur Betreibung von Maschinen die möglichst grösste seyn, so muss dieses Produkt zu einem Maximum gemacht werden *).

*) Um dieses zu erhalten, wollen wir den log. $(c.v - v^2) + \log. \left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 n^2}\right)$ nach der bekannten Differenzialmethode zu einem Maximum machen. Dazu erhalten wir die Gleichung $\frac{c-2v}{v(c-v)} - (c-v)\left(\frac{2c^2}{3n^2(c-v)^2 - c^2}\right) = 0$; daraus findet man $\frac{v}{c} = \frac{1}{2} - \frac{1}{6n^2\left(1-\frac{v}{c}\right)^2}$.

Daraus sieht man, dass bei einer hinlänglichen Anzahl von Schaufeln $\frac{v}{c}$ sehr nahe $= \frac{1}{2}$ seyn müsse. Setzen wir nun $\frac{v}{c} = \frac{1}{2} - m$, so ist m eine sehr kleine Zahl, welche aus der Gleichung $m + 4m^2 + 4m^3 = \frac{2}{3n^2}$ bestimmt wird.

Nach der unten beigefügten höhern Rechnung wird diess zu einem Maximum, wenn $\frac{v}{c} = \frac{1}{2} - m$ gesetzt und die Grösse m durch Auflösung der Gleichung $m + 4\,m^2 + 4\,m^3 = \frac{2}{3\,n^2}$ gesucht wird.

Zur leichtern Beantwortung der diessfälligen Fragen und zur bessern Uibersicht dieses Gegenstandes wollen wir für die Anzahl der zu gleicher Zeit im Wasser stehenden Schaufeln n die Zahlen 2, 3, 4, 5 setzen und die in das Gerinne in einer Sekunde einfliessende Wassermenge a . b . c mit M bezeichnen. Hierdurch erhalten wir für **horizontale Gerinne** folgende Werthe.

Anzahl der im Wasser stehenden Schaufeln n.	Hülfsgrösse m.	Verhältniss der Geschwindigkeiten $\frac{v}{c} = \frac{1}{2} - m.$	Wassermenge, die zum Stoss kommt $M\left(1 - \frac{c^2}{3n^2(c-v)^2}\right) = M'.$	Stosskraft des Wassers $56{,}4\,M'\left(\frac{c-v}{2g}\right) = K.$	Bewegungsmoment in einer Sekunde K. v.
2	0,111	0,389	M · 0,7768	$0{,}4746 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c}{2g}$	$0{,}3692 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$
3	0,059	0,441	M · 0,8815	$0{,}4928 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c}{2g}$	$0{,}4346 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$
4	0,036	0,464	M · 0,9275	$0{,}4971 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c}{2g}$	$0{,}4614 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$
5	0,024	0,476	M · 0,9514	$0{,}4985 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c}{2g}$	$0{,}4746 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$
6	0,017	0,483	M · 0,9654	$0{,}4991 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c}{2g}$	$0{,}4822 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$
7	0,013	0,487	M · 0,9742	$0{,}4998 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c}{2g}$	$0{,}4868 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$
8	0,010	0,490	M · 0,9800	$0{,}4998 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c}{2g}$	$0{,}4898 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$

In dieser Tabelle ist die Anzahl der Schaufeln durchaus grösser als $\frac{c}{c - v}$ angenommen, weil man voraussetzt, dass Jedermann daran liegen werde, seine Räder so einzurichten, damit das grösstmögliche Bewegungsmoment erreicht werde. Wir haben nämlich schon Seite 351 gesehen, dass für n = 1 die anstossende Wassermenge nur $= \frac{2}{3} M = 0{,}6667\,M$, folglich kleiner als 0,7768 M ist. Hieraus ist ersichtlich, dass die Anzahl der im Wasser stehendenSchaufeln nie kleiner als zwei seyn dürfe, wo nämlich in demselben Augenblicke, als eine dritte eintritt, die erste Schaufel im Austritt aus dem Wasser begriffen ist. Für diesen Fall ist die vortheilhafteste Geschwindigkeit des Rades v = 0,389 c, also etwas grösser als $\frac{1}{3}$ c; die anstossende Wassermenge beträgt 0,7768 M oder etwas mehr als $\frac{3}{4}$ des vorhandenen Wasserzuflusses und das Bewegungsmoment ist nur $0{,}3692 \cdot 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4g}$, woge-

gen das grösstmögliche Bewegungsmoment, wenn alles Wasser zum Stosse kommt $= 0{,}5 \,.\, 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{4\,g}$ seyn würde.

Aus der Tabelle ersehen wir weiter, dass mit der Vermehrung der Schaufeln nicht nur die anstossende Wassermenge, sondern auch die Geschwindigkeit und das Bewegungsmoment bedeutend vermehrt werden. Weil aber auch in dieser Hinsicht nicht zu weit gegangen werden darf, indem, wie die Rechnung zeigt, der Vortheil einer sehr grossen Anzahl Schaufeln nicht so bedeutend ist, um eine besondere Rücksicht zu verdienen, so glaubt man, dass in jedem Falle die Anzahl von 6 bis 8 Schaufeln, welche zu gleicher Zeit im Wasser zu gehen haben, ausreichen dürfte und dass man hierbei ohne Anstand die vortheilhafteste Geschwindigkeit des Rades $v = \frac{1}{2}\,c$ und die anstossende Wassermenge $= M$ setzen kann.

In diesem Falle haben wir für den Durchmesser des Rades, die Entfernung und Anzahl der Schaufeln an der Peripherie folgende Gleichungen: Es sey die Tiefe des Wassers im Schussgerinne $= a$, die Entfernung der Schaufeln von einander $= E$, so haben
Fig. 7. Tab. 56. wir in dem Falle, wenn n Schaufeln im Wasser gehen sollen $A\,O : A\,D = A\,D : A\,B$ oder $a : \frac{n\,.\,E}{2} = \frac{n\,.\,E}{2} : 2\,R$, folglich $R = \frac{n^2\,.\,E^2}{8\,a}$. Weil aber bei der Bestimmung der Grösse der Räder noch der Umstand zu berücksichtigen ist, dass die gewöhnlichen Uiberschwemmungen des Wassers nicht die Oeffnung für die Radwelle erreichen und das Gehwerk unter Wasser setzen dürfen, so müssen wir die Grösse der Räder als gegeben annehmen und wir erhalten demnach die Entfernung der Schaufeln $E = \frac{2}{n}\sqrt{a\,.\,2\,R}$; daher ist die Anzahl der Schaufeln an der ganzen Peripherie des Rades $N = \frac{2\,\pi\,.\,R}{E} = n\,.\,\pi\sqrt{\frac{R}{2\,a}}$.

Beispiel. Es sey der Halbmesser des Rades $R = 9$ Fuss aus den angeführten Gründen nothwendig, so ist für den Fall, wenn 6 Schaufeln im Wasser gehen sollen, $n = 6$ und die Tiefe des Wassers im Gerinne $a = 1{,}26$ Fuss, folglich $N = 6 \cdot \frac{22}{7}\sqrt{\frac{9}{2\,.\,1{,}26}} = 35{,}6$, wofür wegen der leichtern Theilbarkeit des Kreises in 6 Theile die Zahl 36 angenommen werden kann. Auf gleiche Art erhält man für $n = 7$ die Anzahl der Schaufeln an der Peripherie $N = 42$; für $n = 8$ wird $N = 48$, u. s. w.

§. 263.

Bevor wir zur Berechnung einer ganzen Werksanlage mit Anwendung unterschlächtiger Räder übergehen, müssen wir noch hauptsächlich auf den Umstand des **gehemmten Wasserabflusses im Schussgerinne** aufmerksam machen, und die Mittel angeben, wodurch dessen Folgen beseitigt werden können.

Wir haben bereits Seite 348 gezeigt, dass in horizontalen Gerinnen das Wasser hinter dem Rade auf einer grössern Höhe abfliessen müsse, als diess bei dem Zufluss des Wassers zu den Radschaufeln der Fall war. Setzen wir nämlich die Höhe des zufliessenden Wassers im Gerinne $= a$, seine Geschwindigkeit $= c$ und die Breite des Gerinnes $= B$, dann die Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers $= v$ und die Höhe desselben $= y$, so ist wegen der Gleichheit des Zu- und Abflusses

$a . B . c = y . B . v$, woraus $y = \frac{a . c}{v}$ folgt. Dieser Höhe steht von Seite des zufliessenden Wassers nur die Höhe a entgegen; es werden daher nach den Sätzen der Hydrostatik alle Punkte der Querschnittsfläche a.b mit einer Kraft zurückgedrückt, welche $= 56{,}4\, a . b\, (y - a)$ ist. Dieser Druck muss von der wirksamen Kraft des Wasserstosses abgezogen werden, wenn dem Rückstau nicht durch andere Mittel begegnet wird. Demnach wäre der Wasserstoss bei einer hinlänglichen Anzahl von Schaufeln im ersten Falle nur auf $56{,}4\, a . b . c \left(\frac{c - v}{2 g}\right) - 56{,}4\, a . b \left(\frac{a . c}{v} - a\right)$ anzuschlagen. Setzen wir in dieser Gleichung, so wie es bei einer hinlänglichen Anzahl von Schaufeln der Fall ist $v = \frac{1}{2} c$, so beträgt die wirksamste Kraft des Rades in einem horizontalen Gerinne nur $56{,}4\, a . b \left(\frac{c^2}{4 g} - a\right)$. Hieraus sieht man, dass der Rückstau vorzüglich bei grossen Flüssen, wo die Höhe des Wassers im Gerinne grösser ist, von Bedeutung werden kann, wenn nämlich die Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{4 g}$ die Höhe des Wassers im Gerinne nicht bedeutend übersteigt.

Um diesem Uibelstande zu begegnen, hat man vorgeschlagen, dem Boden des Gerinnes eine Neigung zu geben, bei welcher das Gefälle des Gerinnes der Höhe des Rückstaues gleich ist. In diesem Falle würde das Gerinne unter dem Wasserrade um die Grösse $\frac{a . c}{v} - a$ und im Falle der vortheilhaftesten Benützung des Wassers um die Höhe a des herbeifliessenden Wassers gesenkt werden müssen.

§. 264.

Zweckmässiger erscheint folgende Einrichtung. Bei den unterschlächtigen Mühlen in Böhmen wird gewöhnlich die Hauptschwelle des einfallenden Wassers unter der Mühlschütze in die Oberfläche des im Flussbette abfliessenden Wassers oder in die Oberfläche des Unterwassers gelegt, wodurch die Höhe des Wassers vor der Schütze, nämlich AB der Normalhöhe des Wassers gleich wird. Setzen wir diese Fig.
Höhe $AB = h$, und die Breite des Gerinnes zwischen den Griessäulen $= b$, so ist die 8.
Menge des einfallenden Wassers nach §. 111, $M = m . \frac{2}{3} . b . h . 2\sqrt{g . h}$ und die Ge- Tab. 56.
schwindigkeit des Wassers auf der Hauptschwelle $c = 2\sqrt{g . h}$. Soll nun das Wasser im Schussgerinne nicht gestaut werden, sondern durchaus in der Höhe des Unterwassers oder nach der horizontalen Oberfläche B D G abfliessen, so wird die Höhe des Gerinnebodens unter der Hauptschwelle oder D E dadurch bestimmt, dass der Punkt E am Gerinneboden dieselbe Geschwindigkeit wie D an der Oberfläche erhalten kann, weil das Wasser am Gerinneboden hinter der Hauptschwelle wegen dem Gegendruck des Unterwassers nicht mehr beschleunigt werden kann, folglich mit derselben Geschwindigkeit wie im Punkte D fliessen muss.

Setzen wir demnach die Höhe des Wasserstandes im Gerinne vor dem Rade $D E = a$ und die Breite des Gerinnes daselbst $= B$, so gibt uns die Gleichheit der abfliessenden Wassermengen die Gleichung $a \cdot B \cdot c = a \cdot B \cdot 2\sqrt{g \cdot h} = m \cdot \frac{2}{3} b \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$, woraus

Fig. 8. Tab. 56. $a = m \cdot \frac{2}{3} h \cdot \frac{b}{B}$ folgt. Setzen wir für den Zusammenziehungskoeffizienten nach Seite 158, $m = 0{,}633$, so erhalten wir $a = 0{,}633 \cdot \frac{2}{3} h \cdot \frac{b}{B} = 0{,}422\, h \cdot \frac{b}{B} = DE$. Weil aber die vortheilhafteste Geschwindigkeit des Wassers bei einer hinlänglichen Anzahl von Schaufeln $v = \frac{1}{2} c$ ist, folglich die Höhe des vom Rade gestauten Wassers $\frac{a \cdot c}{v} = 2a = GH$ beträgt, so ist ersichtlich, dass, wenn der Punkt G abermals in der horizontalen Linie des Wassers liegen soll, der Gerinneboden unter dem Rade auf die Tiefe $2a = 2 \cdot 0{,}422\, h \cdot \frac{b}{B} = 0{,}844\, h \cdot \frac{b}{B}$ gelegt werden müsse. Daraus ergibt sich die Kröpfung des Gerinnebodens unter dem Rade $= 0{,}422\, h \cdot \frac{b}{B}$. Diese Gleichung gibt uns den Vortheil, dass wir die Höhe des Wassers hinter dem Rade $= 2a = 0{,}844\, h \cdot \frac{b}{B}$ der Höhe des Wassers im Flusse, in welchen das Gerinne einmündet, nöthigenfalls gleich machen können. Setzen wir nämlich die Tiefe des Wassers im Flusse, welche nie kleiner seyn darf als die Höhe $2a, = A$, so erhalten wir das Verhältniss der Breiten des Gerinnes $\frac{b}{B} = \frac{A}{0{,}844\, h}$, welche Gleichung in dem Falle angewendet werden muss, wenn die Wassertiefe im natürlichen Flusse seichter wäre, als es die Höhe des Wehres erfordern würde.

§. 265.

Da man überhaupt den Bau aller Fluthwerke so einrichten muss, wie sie dem vorauszusetzenden mittlern oder kleinsten Wasserstande entsprechen, weil man bei hohen Wässern dem Abflusse durch Verminderung der Anzahl der Radschaufeln oder auf andere Art abhelfen und überhaupt wegen zu vielem Wasser für die Mühlgerinne nie in Verlegenheit seyn kann, so wollen wir bei den folgenden Betrachtungen sowohl eine hinlängliche, der grössten Wirkung entsprechende Anzahl von Radschaufeln, als auch die hierzu nöthige Senkung oder Kröpfung des Gerinnebodens voraussetzen.

Mit dieser Voraussetzung haben wir allgemein den Wasserstoss an das Rad in jeder Sekunde $= 56{,}4\, M \left(\frac{c - v}{2g}\right)$ und das mechanische Moment $= 56{,}4\, M \left(\frac{c - v}{2g}\right) v$. Soll nun dieses Moment oder die Arbeit des Rades am grössten werden, so muss das Produkt $(c - v)\, v$ möglichst gross, folglich $v = \frac{c}{2}$ seyn, sonach das Wasser mit der halben Geschwindigkeit, welche vor den Rädern Statt findet, aus dem Mühlgerinne abfliessen.

Die Richtigkeit dieses Satzes wird durch die Erfahrung hinlänglich bestättigt. *Mariotte* erzählt in dem *Traité du mouvement des eaux*, *II Partie*, *III discours*, *5 regle*, dass die Mühlräder an der *Seine* zu *Paris* zwischen dem *pont neuf* und *pont au change* und eben so das Wasserrad bey dem Pumpwerk zur *Samaritaine* an ihrer Peripherie die Hälfte der Geschwindigkeit des zufliessenden Wassers haben. *Belidor*, *architecture hydraulique*, *tome I*, *livre II*, §. 649, fand bei der Mühle zu *la Fere* die Geschwindigkeit des Wassers $c = 17$ Fuss 3 Zoll 4 Linien, die Geschwindigkeit der Schaufeln $v = 8$ Fuss 4 Zoll 7 Linien, welche beinahe die Hälfte der vorigen, und vom Zustande

des vortheilhaftesten Wasserstosses bei weitem nicht so viel entfernt ist, als *Belidor* nach der Theorie des *Parent* glaubte. *H. Wiebeking* sagt über diesen Gegenstand in seinen Beiträgen zum praktischen Wasserbau und zur Maschinenlehre, Düsseldorf 1792, Seite 190: „Ueber das Verhältniss der Geschwindigkeit des Wasserrades zur Geschwin- „digkeit des Wassers im Gerinne habe ich viele und wiederholte Beobachtungen an- „gestellt und bei zehn Wasserrädern eine Mittelzahl gefunden; nach derselben ver- „hält sich $v : c = \frac{1}{2} : 1$. Jene Mühlen, über welche ich Beobachtungen anstellte, „waren ziemlich vortheilhaft eingerichtet" u. s. w. Aehnliche Erfahrungen sind auch in mehreren andern mechanischen Schriften angeführt.

§. 266.

Zur bessern Aufklärung dieses Gegenstandes wollen wir in der Gleichung für die Kraft, womit das im Schussgerinne aufgehaltene Wasser an die Schaufeln drückt, $K = 56{,}4\, M \left(\frac{c - v}{2g}\right)$ den Werth $v = \frac{1}{2} c$ an der Stelle von v und $M = a.b.c = f.c$ setzen. Demnach erhalten wir $K = 56{,}4\, f \cdot \frac{c^2}{4g} = 56{,}4\, f.h$, wo nämlich f die Querschnittsfläche des durch die Oeffnung unter der Schütze ausfliessenden Wassers und h die Druckhöhe, von welcher das Wasser durch diese Oeffnung herausgetrieben wird, bezeichnet. Da wir nun in der Hydrostatik gesehen haben, dass der Druck gegen eine Schütze, von welcher diese Oeffnung geschlossen wird, eben so gross als $56{,}4\, f.h$ ist, so folgt auch, dass das Wasser gegen die Schaufeln genau denselben Druck ausübt, den die Schütze, welche diesen Druck abschliessen soll, auszuhalten hat.

Wenn wir nun das mechanische Bewegungsmoment suchen, womit das Wasser im Schussgerinne fortfliesst und zu diesem Behufe die Kraft $K = 56{,}4\, f.h$ mit der Geschwindigkeit c multipliziren, so erhalten wir dieses Moment $= 56{,}4\, f.h.c = 56{,}4\, M.h$. Wir wissen aber aus der vorhergehenden Theorie, dass für den Fall der grössten Wirkung dieselbe Kraft $K = 56{,}4\, f.h$ nur mit $\frac{c}{2}$ multiplizirt werden muss, was nun das mechanische Bewegungsmoment $= 56{,}4\, f.h \cdot \frac{c}{2} = 56{,}4\, M \cdot \frac{h}{2}$ gibt. Hieraus erhellet, dass bei dem vortheilhaftesten Wasserstosse im Schussgerinne das mechanische Bewegungsmoment des Wassers $56{,}4\, M.h$ eigentlich in zwei Theile zerlegt und die eine Hälfte dem Rade zugewendet, die andere Hälfte dem abfliessenden Wasser gelassen wird. Es ist demnach nur einem Missverstande zuzuschreiben, wenn einige Schriftsteller behauptet haben, dass bei dem vortheilhaftesten Stosse des Wassers an die Schaufeln unterschlächtiger Räder die Hälfte von der Kraft des Wassers verloren gehe.

Auch sieht man aus dieser Darstellung, dass für den Fall, wenn die Räder mit einer grössern als der halben Geschwindigkeit des Wassers herumgehen, der Stoss an die Schaufeln derselben nur $= 56{,}4\, f.c \left(\frac{c - v}{2g}\right)$ ist. Für den Fall also, wenn dem Wasser die ganze Geschwindigkeit c gelassen wird, oder $v = c$ wäre, ist dieser Ausdruck $= 0$, folglich gar kein Druck an die Schaufeln vorhanden, und es kann auch keine

Wirkung des Rades Statt finden. Im Gegentheile, wenn dem Wasser die ganze Geschwindigkeit entzogen, oder $v = 0$ gesetzt wird, ist zwar der Druck des Wassers an das Rad der grösste, nämlich $= 56{,}4\, f \cdot \frac{c^2}{2g} = 56{,}4\, f . 2h$, weil aber nunmehr das Rad stille stehen, folglich abermals keine Arbeit verrichten würde, so wäre das Bewegungsmoment wieder $= 0$. Die Gleichung für den grössten Effekt $56{,}4\, f . c \cdot \frac{h}{2}$ hält demnach das Mittel zwischen beiden Extremen, wo nämlich im ersten Falle der Druck K der kleinste oder $= 0$ und die Geschwindigkeit $v = c$, folglich die grösstmögliche, im zweiten Falle aber der Druck an die Schaufeln zwar am grössten, jedoch die Geschwindigkeit $v = 0$ die kleinste ist.

§. 267.

Weil bei allen Maschinen das Produkt der Kraft in ihre Geschwindigkeit dem Produkte der gehobenen Last in ihre Geschwindigkeit gleich kommt, so ist hieraus ersichtlich, warum in der Gleichung $K . v = 56{,}4\, f . c \left(\frac{c - v}{2g}\right) v$ die Hebelsarme entfallen oder von keiner Wirkung befunden worden sind. Die Grösse des Halbmessers oder Durchmessers eines Wasserrades ist daher für den Effekt desselben ganz gleichgültig, indem derselbe dadurch weder vermehrt noch vermindert wird; zugleich sehen wir, dass bei jeder Maschine, die durch den Stoss des Wassers bewegt wird, die Frage über die Grösse der Arbeit, und ob die von der Maschine verrichtete Arbeit wirklich ein Maximum sey, am schicklichsten aus der vortheilhaftesten Verwendung des Wassers im Schussgerinne beantwortet werden könne. Hierbei wird nämlich vorausgesetzt, dass die Reibung, der Widerstand der Luft und andere Nebenumstände keine merklichen Hindernisse veranlassen, welche, im Falle sie Statt finden, die Wirkung der Maschine immer etwas zurücksetzen und durch andere mechanische Mittel möglichst beseitigt werden müssen.

Die Bestimmung der vortheilhaftesten Geschwindigkeit der Radschaufeln dient hauptsächlich dazu, um durch angemessene Verhältnisse der Hebelsarme den Gang der Maschine so einzurichten, wie sie für die zu verrichtende Arbeit am zuträglichsten ist.

Bei den Getreidemühlen hat man die Erfahrung gemacht, dass zur Erzeugung eines brauchbaren Mehles nur eine bestimmte Geschwindigkeit der Mühlsteine anzuwenden sey, weil bei der grössern Geschwindigkeit das Mehl gleichsam verbrannt wird und das hieraus gebackene Brod einen eigenen widrigen Geschmack erhält; bei einer zu langsamen Bewegung aber das zerschrotene Getreide oder Mehl zwischen den Mühlsteinen sitzen bleibt und dem Beutelsack nicht hinlänglich zugeführt wird. Auf gleiche Art ist auch z. B. bei Spinnmaschinen, Webereien, Hammer- und Pochwerken u. s. w. nur eine bestimmte Geschwindigkeit der Arbeit zuträglich. Ist nun diese bekannt, so ergibt sich hieraus von selbst das vortheilhafteste Verhältniss der Hebelsarme, welches diesen Geschwindigkeiten proporzional angenommen werden muss.

§. 268.

Ein Beispiel wird das Gesagte besser erläutern. Bei den Getreidemühlen haben *Belidor* und *Fabre* in Frankreich, dann *Wiebeking* und mehrere Schriftsteller in Deutschland über die vortheilhafteste Geschwindigkeit der Mühlsteine folgende Erfahrungen in ihren über den Mühlenbau herausgegebenen Schriften bekannt gemacht. In der Mühle zu *la Fere*, welche aus mehreren Ursachen verdient hatte von *Belidor* als Muster aufgestellt zu werden, hatte der Mühlstein 6 Fuss im Durchmesser und machte in jeder Minute 53 Umläufe (*Architecture hydraulique, T. I*, §. 656). *Fabre* (Versuch über die Getreidemühlen §. 388) erhielt von einem Mühlsteine, der 5 Fuss im Durchmesser hatte, nur gutes Mehl, wenn derselbe in jeder Minute 48 bis 61 Umgänge machte; bei 68, 81 und 95 Umgängen war die Erhitzung des Mehles immer merklicher und das daraus gebackene Brod jederzeit schlechter. *Wiebeking* (Beiträge zum praktischen Wasserbau, VI. Abschnitt, Seite 159) liefert aus seinen Beobachtungen der besten Mühlen in Pommern und am Rhein eine Tafel, in welcher die Umläufe der Mühlsteine sehr nahe im umgekehrten Verhältnisse ihrer Durchmesser zunehmen. Aus diesen Beobachtungen folgt, dass die französischen Mühlsteine, welche nicht flach, sondern etwas konisch zugehauen sich über einander bewegen, an ihrer Peripherie eine Geschwindigkeit von 16 bis 17 pariser Fuss, oder im Mittel 17 Rheinl. Fuss, die deutschen flachen Mühlsteine hingegen 24 Rheinl. Fuss Geschwindigkeit haben. Am Lande in Böhmen haben die Mühlsteine nur $2\frac{1}{2}$ bis 3 Fuss im Durchmesser und die Anzahl der Umläufe in einer Minute ist bei kleinen Mühlsteinen 180, bei grössern 150, woraus wieder die Geschwindigkeit am Umfange beinahe = 24 Fuss folgt. Hierbei ist zu bemerken, dass die französischen Mühlsteine nach *Belidor* und *Fabre* so behauen sind, dass sie in der Mitte einen bedeutenden, nämlich der Grösse des zu vermahlenden Kornes angemessenen Zwischenraum besitzen, welcher aber gegen die Peripherie hin, wo die Steine nur die bereits zermahlenen Getreidekörner (Schrot) noch feiner zu zermahlen haben, kleiner wird. Nehmen wir in dieser Hinsicht mit *Belidor* und *Fabre* an, dass der Schwerpunkt des Zerreibens bei den französischen Mühlsteinen auf $\frac{2}{3}$ des Halbmessers, bei den deutschen hingegen auf der Hälfte desselben zu setzen sey, so findet man für diese Schwerpunkte die Geschwindigkeit sowohl für die deutschen als französischen Mühlsteine einander beinahe gleich und für beide 12 Fuss. In der folgenden Tafel ist die Zahl der Umläufe der Mühlsteine so berechnet worden, dass den französischen Mühlsteinen auf der Entfernung von $\frac{2}{3}$ ihres Halbmessers die Geschwindigkeit 12 Fuss, den deutschen hingegen auf der Mitte ihres Halbmessers dieselbe Geschwindigkeit von 12 Rheinl. Fuss beigelegt wurde. Die Anzahl der Umläufe, welche ein Mühlstein in 1 Minute macht, ist nämlich immer $= \frac{60\,C}{{}^{22}/_{7} \cdot 2\,r}$, wo C die Geschwindigkeit des Steines an der Peripherie und r seinen Halbmesser bezeichnet.

Durchmesser der Mühlsteine.	Anzahl der Umläufe in 1 Minute		Unterschiede der Beobachtung von der Rechnung.
	nach der Rechnung.	nach der Beobachtung.	
42 Rheinländer Zoll	131	130	+ 1
44 „ „ „	125	124	+ 1
46 „ „ „	120	120	0
48 „ „ „	115	110	+ 5
54 „ „ „	102	104	— 2
60 „ „ „	92	98	— 6
63 „ „ „	87	90	— 3
60 Pariser Zoll	65	61	+ 4
72 „ „ „	54	53	+ 1

Bei den Mühlsteinen in Prag, welche 31 bis 32 N. Oe. Zoll im Durchmesser haben, wurden ähnliche Beobachtungen angestellt: Bei den Neumühlen, in der Mühle des Herrn *Hlawsa* fand man bei den ersten vier Gängen den Durchmesser der reibenden Fläche der Mühlsteine = 32 N. Oe. Zoll und im Mittel 252 Umläufe in 1 Minute. Hieraus folgt die Geschwindigkeit der Mühlsteine an ihrem Umfange $= 3{,}1416 \cdot \frac{32}{12} \cdot \frac{252}{60} = 35{,}2$ Fuss. In der Mühle des Herrn *Wiskočil* am linken Moldauufer war der Durchmesser der reibenden Fläche der Mühlsteine = 31 Zoll und die Anzahl der Umläufe in 1 Minute im Mittel = 237,8, woraus nun wieder die Geschwindigkeit am Umfange $= 3{,}1416 \cdot \frac{31}{12} \cdot \frac{237{,}8}{60} = 32{,}2$ Fuss folgt. Die Ursache dieser schnellern Bewegung der Mühlsteine liegt darin, dass das Getreide bei der hierortigen Mahlmethode 5 bis 6 mal aufgeschüttet, hierbei die Steine weiter auseinander gestellt und das Getreide nicht viel angegriffen wird, folglich auch dieselbe Erhitzung wie bei einer nähern Stellung der Steine nicht zu befürchten ist.

B e i s p i e l. Wir wollen nun annehmen, dass die für die Mühle gesetzlich bestimmte Höhe der Wehrschwelle oder des Wehrrückens über der Hauptschwelle des Mühlgerinnes 4 Fuss betrage. Daraus folgt die Geschwindigkeit des zufliessenden Wassers $c = 2\sqrt{15{,}5 \cdot 4} = 15{,}748$ Fuss, demnach ist die vortheilhafteste Geschwindigkeit der Radschaufeln $v = 7{,}87$ Fuss. Nach den angeführten Beobachtungen wird ein gutes Mehl nur in dem Falle erzeugt, wenn die Mühlsteine an dem Orte ihres grössten Angriffs eine Geschwindigkeit von 12 bis höchstens 15 Fuss ($= C'$) besitzen. Setzen wir demnach den Halbmesser eines französischen Mühlsteines nach *Belidor* = 3 Fuss, so wird für die Zerreibung des Getreides im Schwerpunkte nur der Halbmesser von 2 Fuss ($= r'$) in Rechnung zu nehmen seyn. Der Halbmesser des Wasserrades sey $R = 9$ Fuss; wird nun an die Welle dieses Wasserrades ein Kammrad gesetzt, dessen Halbmesser bis zum Angriffspunkte wir y nennen wollen, so wird die Geschwindigkeit der Kämme $= v \cdot \frac{y}{R}$ seyn.

Fig. 9. Tab. 56.

An der Achse des Mühlsteines befindet sich ein Getriebe, dessen Halbmesser bis zum Angriffspunkte wir x nennen wollen; demnach ist die Geschwindigkeit der Triebstöcke $= C' \cdot \frac{x}{r'}$. Da nun die Kämme des Kammrades sich mit den Stöcken des Getriebes immerfort berühren, folglich beide eine gleiche Geschwindigkeit besitzen müssen, so haben wir die Gleichung $v \cdot \frac{y}{R} = C' \cdot \frac{x}{r'}$, folglich $y : x = \frac{C'}{r'} : \frac{v}{R}$ und werden die Zahlen unsers Beispiels substituirt, so ist $y : x = \frac{12}{2} : \frac{7{,}87}{9} = 6{,}9 : 1$. Der Durchmesser des Kammrades muss demnach beinahe 7 mal so gross als der Durchmesser des Getriebes seyn. Nimmt man das Getriebe mit 18 Zoll im Durchmesser an, so erhält das Kammrad einen Durchmesser von $6{,}9 \cdot 18 = 122{,}4$ Zoll = 10 Fuss 4,2 Zoll. Hat die Mühle diese Einrichtung, so wird die Geschwindigkeit des Mühlsteines die oben angeführte zur Erzeugung eines brauchbaren Mehles nothwendige seyn, und zugleich auch die Kraft des Wassers auf die zweckmässigste Art benützt werden. Fig. 9. Tab. 56.

§. 269.

Wir haben nun noch zum Behufe der Einrichtung einer Getreidemühle bestimmte Erfahrungen über das Mahlquantum anzugeben, welches von einem bestimmten Bewegungsmomente hervorgebracht wird. Da das Gehwerk einer Mühle mehr oder minder Vollkommenheit besitzt und die Reibung in den Lagern, so wie zwischen Zahn und Getriebe nach der Konstrukzion der Zähne und der Verschiedenheit der reibenden Körper auch grösser oder kleiner seyn kann, da endlich die Mechanismen zur Bewegung des Beutelsackes und zur Zuführung des Getreides zwischen die Mühlsteine ebenfalls verschieden sind, überdiess selbst die Operazionen des Aufschüttens und Mahlens des Getreides nicht überall auf dieselbe Art vorgenommen werden, so leuchtet von selbst ein, dass auch das Bewegungsmoment, welches zum Vermahlen eines bestimmten Quantums, z. B. eines Metzens Korn erfordert wird, nicht in jeder Mühle gleich gefunden werden könne. Die Mahlmühlen, welche in Amerika erfunden, von dort nach England und Frankreich eingeführt und deren einige bereits auch in Deutschland und zwar in Magdeburg, Berlin, Guben und Hamburg aufgestellt wurden, werden als die vollkommensten dieser Art betrachtet. Die Beschreibungen derselben finden sich in einem Aufsatze des k. preuss. geheim. Oberregierungsrathes und Direktors der Gewerbeschule, Herrn *Beuth* zu Berlin in den „Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses in Preussen", 1825, 2te Lieferung, dann in dem *Recueil des machines, instruments et appareils, qui servent à l'économie rurale, par Leblanc*, 6me *livraison;* im polytechnischen Journale von *Dingler,* Band XXXI, Seite 329, endlich sind die Vortheile der in England üblichen Manipulazionen bei dem Mahlen in dem Werke von *Clement: Des grains, des disettes et des reserves* genau beschrieben.

Herr *P. N. C. Egen*, Direktor der Real- und Gewerbeschule zu Elberfeld, führt in seinen bereits erwähnten: Untersuchungen über den Effekt einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke folgende Erfahrungsresultate über das Mahlquantum an, welches von einem bestimmten Bewegungsmomente täglich bewirkt werden

kann. Derselbe nimmt hierbei das **Bewegungsmoment eines Pferdes** oder das Produkt der Kraft eines Pferdes in seine Geschwindigkeit zum Maasstabe an und setzt diess beiläufig = 520 Cöllnische Pfund mit 1 Rheinl. Fuss multiplizirt. Da nun 1 Cölln. Pfund = 0,8352 N. Oe. Pfund und 1 Rheinl. Fuss = 0,9929 N. Oe. Fuss, so wäre das Bewegungsmoment eines Pferdes im N. Oe. Maass und Gewicht = 431. Hiernach sind nachfolgende Erfahrungen zu beurtheilen:

In der Feldmühle bei *Soest* auf dem *Soester*bach liegend, wo Herr *Egen* die vollständigsten und genauesten Versuche in den Jahren 1828 und 1829 anstellte, ist das Kraftmoment, welches das Rad Nro. I. nach der Messung mit einem genauen Dynamometer wirklich ausübt = 1048 oder 2 Pferdekräfte stark, womit in der Stunde 194 Pfund oder 2½ Scheffel Gerste geschroten werden; der Mühlstein macht 75 Umläufe in der Minute. Bei dem Gange Nro. II., wo der Stein 64 Umläufe in der Minute machte, betrug das dem Rade mitgetheilte reine Kraftmoment 1120 oder 2,2 Pferdekraft, es werden dabei in der Stunde für jede Pferdekraft 86 Pfund oder fast genau 1 Scheffel Weizen zwischen rheinischen Mühlsteinen vermahlen.

Andere Erfahrungen stellte Herr *Egen* an der Mahlmühle zu *Lohne* bei *Soest* an. Nach denselben wurde bei dem dritten Rade mit dem reinen Kraftmoment von 900 oder 1,7 Pferd, stündlich 164 Pfund Gerste geschroten. Diess beträgt für jede Pferdekraft 96,3 Pfund oder 1,25 Scheffel, welches Resultat mit dem zur Feldmühle erhaltenen nahe genug übereinstimmt.

Herr *Egen* führt an, dass die Müller in der dortigen Gegend annehmen, dass 3 Scheffel Weizen, 5 Scheffel Roggen zum Brodbacken und 8 Scheffel Gerste zu Schrot in gleicher Zeit vermahlen werden können, wobei er bemerkt, dass das Brodkorn daselbst ganz fein gemahlen wird. Auf diese Weise werde auf den dortigen Mühlen mit jeder Pferdekraft stündlich 0,5 Scheffel Weizen, 0,8 Scheffel Roggen zu Brodmehl und 1,2 Scheffel Gerste zu Schrot vermahlen, welche Resultate Herr *Egen* in vielen andern dortigen Mühlen bestättigt fand.

Aus vielfachen Erfahrungen in Frankreich und England ist es bekannt, dass die in der Werkstatt von *Maudslay* in *London* verfertigten Dampfmahlmühlen, welche durch eine Maschine von 16 Pferdekräften getrieben werden, wenn sie 4 Mahlgänge haben, mit jedem Gange stündlich 250 Pfund Getreide, also gegen 3 Scheffel vermahlen. Die Steine haben nur 4 Fuss Durchmesser, sie machen aber 115 bis 120 Umläufe in der Minute. Jede Pferdekraft vermahlt demnach hierbei stündlich 0,75 Scheffel Getreide zu feinem Mehle. Herr *Egen* bemerkt hierzu, dass die Mühlen in Rheinland-Westphalen beinahe dasselbe leisten würden, wenn nicht bei ihrer geringen Arbeit, die Reibung der Maschinentheile verhältnissmässig zu stark wäre; dieselbe nehme nämlich gegen ein Drittel der Kraft weg.

In der Magdeburger Dampfmahlmühle, die von *Freund* in *Berlin* nach englischen Grundsätzen im Jahre 1822 erbaut wurde und 3 Gänge hat, welche mit einer Kraft von 10 Pferden getrieben werden, machen die Mühlsteine 100 Umläufe in der Minute und jeder Gang mahlt stündlich 2,3 Scheffel Weizen. Diess gibt für jede Pferdekraft 0,69 Scheffel, welches mit der vorstehenden Angabe von den in England erbauten Mühlen genau genug zusammentrifft.

Nach *Farey's* Beobachtungen mahlt jede Pferdekraft in den englischen Dampfmühlen stündlich $0{,}61$ Scheffel Weizen, welche Angabe noch etwas niedriger als die vorige ist.

Hachette stellte Beobachtungen in den Mühlen von *Corbeil* an; er fand, dass jede Pferdekraft stündlich $0{,}8$ Scheffel Weizen bei einmaligem Durchgange durch den Mahlgang fein vermahle (*mouture à la grosse*, im Gegensatze der in Frankreich und Deutschland üblichen *mouture économique*, wo Weizen bei mehrmaligem Durchgange durch die Steine vor und nach fein vermahlen wird).

Navier nimmt auf ältere Beobachtungen gestützt, ein fast $1\frac{1}{2}$ mal so starkes Produkt an, oder dasselbe Produkt, wenn Grüze doppelt vermahlen wird (*moudre et remoudre sur gruaux*.)

Coulomb berechnet das mittlere reine Moment, das der Wind auf die Flügel der Mühlen um *Lille* ausübt, zu $1000 \cdot \frac{253}{60}$ oder zu 8 Pferden. Mit dieser Kraft sollen dort stündlich 900 ℔ Getreide vermahlen werden. Diess gibt auf 1 Pferdekraft $112{,}5$ ℔ oder $1{,}3$ Scheffel Weizen, wahrscheinlich grob gemahlen (*Coriolis* p. 244).

Fenwick will in England viele Versuche über Getreidemühlen angestellt haben. Er sagt, dass 1 *Boll* Roggen, welches gegen $2\frac{2}{3}$ Scheffel ausmacht, stündlich zu vermahlen, eine reine Kraft von 2 Pferden in den bessern englischen Mühlen erfordere. Diess gibt für jede Pferdekraft $= 1{,}3$ Scheffel, also ein sehr starkes Resultat. (Darstellung der mechanischen Wissenschaften von *Gregory* II. Band, Seite 286.)

Belidor rechnet, dass ein Mahlgang, wenn der Stein 4348 ℔ schwer ist und bei 6 Fuss Durchmesser 53 Umläufe in der Minute macht, innerhalb 24 Stunden 120 *Septiers* Getreide mit einer Kraft von $3\frac{1}{2}$ Pferden vermahlen könne. Diess gibt stündlich für jede Pferdekraft $1{,}2$ Scheffel (*Architecture hydraulique, Tom. I. p.* 293).

Nachstehende Tabelle enthält die Uibersicht dieser Erfahrungen, welchen zugleich das Mahlquantum in N. Oe. Metzen beigesetzt ist, welches für die Stunde von 1 Pferdekraft erhalten wird. Hierbei ist 1 Rheinl. Scheffel $= 0{,}8987$ N. Oe. Metzen gesetzt.

Nro.	Nahme des Beobachters und Ort der Beobachtung.	Erzeugtes Mahlquantum von einer Pferdekraft in 1 Stunde.		Getreidegattung und Art der Vermahlung.
		Rheinl. Scheffel.	N. Oe. Metzen.	
1	Herr *Egen* in der Feldmühle bei *Soest* auf dem ersten Mahlgange	1,25	1,117	Gerste geschroten zwischen Rheinl. Mühlstein.
2	Herr *Egen* eben daselbst auf dem zweiten Mahlgange	1,00	0,894	Weizen vermahlen.
3	Herr *Egen* in der Mahlmühle zu *Lohne* bei dem dritten Mahlgange	1,25	1,117	Gerste geschroten.
4	Nach Herrn *Egen* wird in den Rheinländer Mühlen überhaupt	0,5	0,447	Weizen vermahlen.
5	detto detto	0,8	0,715	Roggen zu Brodmehl.
6	detto detto	1,2	1,072	Gerste zu Schrot.
7	In Frankreich und England auf Dampfmühlen aus der Werkstätte von *Maudslay* in *London*	0,75	0,670	Getreide zu feinem Mehle.
8	Auf der Dampfmühle in *Magdeburg*, die nach englischen Grundsätzen erbaut ist	0,69	0,617	Weizen zu Mehl.
9	Nach *Farey* auf den englischen Dampfmühlen	0,61	0,545	Weizen zu Mehl.
10	Nach *Hachette* in den Mühlen von *Corbeil*	0,8	0,715	Weizen zu Mehl bei einmaligem Durchgange durch den Mahlgang.
11	Nach *Coulomb* auf den Windmühlen bei *Lille*	1,3	1,162	Weizen (wahrscheinlich nur grob vermahlen).
12	Nach *Fenwick* in den besten englischen Getreidemühlen	1,3	1,162	Roggen zu Mehl.
13	Nach *Belidor* auf der Mühle zu *la Fere*	1,2	1,072	Getreide (wahrscheinlich nur grobes Mehl).

Obwohl in diesen Versuchen die Art der Vermahlung, die Feinheit der erzeugten Mehlgattungen u. dgl. m. nicht mit jener Bestimmtheit angegeben ist, welche man bei diesem Gegenstande wünschen muss, so dürften dieselben doch zur Beurtheilung der Leistungen einer Mühle hinreichen. In den Hauptstädten wird gewöhnlich ein feineres, zu besseren Gebäcken taugliches Mehl verlangt, wozu der Weizen mit grösserer Sorgfalt gewählt, gereinigt und zu dem Zwecke mehrmals aufgeschüttet wird, um das zuerst gewonnene Mehl von dem letztern, welches gewöhnlich wegen Zerrei-

bung der Schale schwärzer ausfällt, abzusondern. In dieser Hinsicht wird in Böhmen der Weizen gewöhnlich 5 bis 6 mal aufgeschüttet und das feinere Mehl nur von dem ersten Aufschütten gewonnen. Dagegen pflegt man das Korn, woraus das Mehl zum Brodbacken für das Militär, die Dienstleute etc. nicht von derselben Feinheit und Weisse verlangt wird, nur 3 mal aufzuschütten, und wo kein besonderer Ausschlag begehrt wird, alle 3 Gattungen Mehl zusammen zu mischen. Für das Schroten des Malzes zum Gebrauche der Bierbrauer und Brandweinbrenner ist ein 1maliges Aufschütten hinreichend. In dieser Hinsicht rechnet man, dass in derselben Zeit von einem Mahlgange 10 Strich Weizen oder 20 Strich Korn gemahlen und 50 Strich Gerste und Haber geschroten werden können.

Mit Rücksicht auf diese Umstände wird man im Stande seyn, nicht nur die Leistungen einer Mühle zu beurtheilen, sondern auch die Frage aufzulösen, ob und wie viel Mahlgänge angelegt werden können, wenn vorläufig sowohl der Wasserzufluss als auch das Gefälle vor dem Baue der Mühle gemessen worden sind.

§. 270.

Bei grössern Flüssen ist der Wasserzufluss und das zur Mühlenbenützung vorhandene Bewegungsmoment gewöhnlich so gross, dass es zur Betreibung mehrerer Mühlen hinreicht. Hierbei entsteht nun zuerst die Frage, ob es vortheilhafter sey für jedes Wasserrad ein eigenes Gerinne vorzurichten oder mehrere Räder in ein und dasselbe Gerinne zu legen und das vom ersten Rade abfliessende Wasser für das zweite und eben so für die übrigen Räder zu verwenden.

Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir die Wassermenge, die zur Betreibung eines Rades nothwendig ist, $= M$ setzen, so ist das Bewegungsmoment dieses Rades $= 56{,}4\ M\left(\frac{c-v}{2g}\right)v$. Diess ist am grössten, wenn $v = \frac{1}{2}c$, folglich haben wir das grösste Bewegungsmoment eines Rades $= 56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{2.4g}$.

Würde daher die Wassermenge M, welche in einem Gerinne zur Betreibung zweier Räder benützt wurde, in zwei Gerinne vertheilt, so würde das Bewegungsmoment eines jeden Rades $= 56{,}4 \cdot \frac{M}{2} \cdot \frac{c^2}{2 \cdot 4g}$ seyn, folglich die Bewegungsmomente beider Räder zusammen $56{,}4\ M \cdot \frac{c^2}{2 \cdot 4g}$ betragen.

Wenn aber in dasselbe Mühlgerinne zwei Räder hinter einander gelegt werden, so wollen wir annehmen, dass die Geschwindigkeit des ersten Rades $= v$ und jene des zweiten Rades $= v'$ ist. Wir erhalten daher das Bewegungsmoment des ersten Rades $= 56{,}4\ M\left(\frac{c-v}{2g}\right)v$ und das Bewegungsmoment des zweiten Rades $56{,}4\ M\left(\frac{v-v'}{2g}\right)v'$. Da nun das Wasser von dem zweiten Rade frei abfliesst, so wird sein Bewegungsmoment am grössten, wenn $v' = \frac{1}{2}v$ und folglich das Bewegungsmoment $= 56{,}4\ M \cdot \frac{v^2}{2.4g}$. Sollen nun beide Räder mit gleich grossem Vortheile betrie-

ben werden, so müssen wir das Bewegungsmoment des ersten Rades dem vortheilhaftesten Bewegungsmomente des zweiten Rades gleich setzen, dadurch erhalten wir $56{,}4\, M\left(\frac{c-v}{2g}\right)v = 56{,}4\, M \cdot \frac{v^2}{2.4g}$; daraus folgt $(c-v)\, v = \frac{1}{4}\, v^2$, folglich haben wir $v = \frac{4}{5}\, c$ und $v' = \frac{1}{2}\, v = \frac{2}{5}\, c$. Wir sehen hieraus, dass die Geschwindigkeit des ersten Rades nicht die Hälfte, sondern $\frac{4}{5}$ von der Geschwindigkeit des herbeiströmenden Wassers seyn muss. Eben so ist die Geschwindigkeit des zweiten Rades nur die Hälfte jener des vom ersten Rade abfliessenden Wassers oder $\frac{2}{5}$ der Geschwindigkeit, womit das Wasser in das Gerinne strömt.

Substituirt man diese Werthe in die obigen Formeln, so ist das Bewegungsmoment des ersten Rades $= 56{,}4 \cdot \frac{M}{2g}\left(c - \frac{4c}{5}\right)\frac{4c}{5} = 56{,}4 \cdot \frac{M}{2g} \cdot \frac{4}{25}\, c^2$ und das Bewegungsmoment des zweiten Rades $= 56{,}4 \cdot \frac{M}{2g}\left(\frac{4c}{5} - \frac{2c}{5}\right)\frac{2c}{5} = 56{,}4 \cdot \frac{M}{2g} \cdot \frac{4c^2}{25}$. Die Bewegungsmomente beider Räder sind demnach einander gleich und ihre Summe beträgt $56{,}4 \cdot \frac{M}{2g} \cdot \frac{8c^2}{25}$.

Wird nun diese Summe der Bewegungsmomente mit jener für zwei Räder in einem Gerinne zusammengehalten, so haben wir $56{,}4\, M \cdot \frac{c^2}{2.4g} : 56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{8c^2}{25} = \frac{1}{4} : \frac{8}{25} = 25 : 32$, beinahe wie 3 : 4. Die beiden Räder in einem Gerinne werden demnach dasselbe Mahlquantum in 3 Tagen abliefern, was mit den Rädern in abgesonderten Gerinnen erst in 4 Tagen aufgebracht werden kann.

§. 271.

Zur Vermeidung des Rückstaues haben wir für die beiden Räder in abgesonderten Gerinnen die Tiefe des Gerinnbodens unter der Mitte des Rades wie oben $= 2a$ wo a die Tiefe des Wassers im Gerinne vor dem Rade vorstellet.

Fig. 10. Tab. 56. Wenn aber zwei Räder hintereinander in ein Gerinne gestellt werden, so ist die Geschwindigkeit des hinter dem ersten Rade abfliessenden Wassers $v = \frac{4}{5}\, c$. Weil nun die Wassermenge $a . b . c$ auch hinter dem Rade abfliessen muss, so ist $a' . b . v = a' . b . \frac{4}{5} c = a . b . c$. Daraus folgt die Tiefe unter der Mitte des ersten Rades $a' = \frac{5}{4}\, a$ und für das zweite Rad, wo die Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers nur $v' = \frac{2}{5}\, c$ ist, folgt auf gleiche Art $a'' = \frac{5}{2}\, a$.

§. 272.

Wenn der Zufluss des Wassers hinreicht, um **drei Räder** betreiben zu können, so haben wir für den Fall, wenn drei Räder hintereinander in ein gemeinschaftliches Gerinne gestellt werden, das Bewegungsmoment des ersten Rades $= 56{,}4\, M\left(\frac{c-v}{2g}\right)v$, jenes der zweiten Rades $= 56{,}4\, M\left(\frac{v-v'}{2g}\right)v'$ und eben so das Bewegungsmoment des dritten Rades $= 56{,}4\, M\left(\frac{v'-v''}{2g}\right)v''$.

Weil das Wasser vor dem letzten Rade mit einer viel kleinern Geschwindigkeit als vor den beiden vorausgehenden anströmt, so müssen wir vorerst das Bewegungs-

moment des letzten Rades zu einem Maximum machen. Demnach muss $v'' = \frac{1}{2} v'$ seyn, dadurch wird dieses Bewegungsmoment $= 56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{(v')^2}{4}$. Setzen wir nun das Bewegungsmoment des zweiten Rades diesem letzten gleich, so haben wir $56{,}4 \frac{M}{2g} (v - v') v' = 56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{(v')^2}{4}$; daraus folgt $v' = \frac{4}{5} v$, folglich ist das Bewegungsmoment des zweiten Rades $= 56{,}4 \frac{M}{2g} (v - \frac{4}{5} v) \frac{4}{5} v$. Wird nun das Bewegungsmoment des ersten Rades diesem gleich gesetzt, so erhalten wir $56{,}4 \frac{M}{2g} (c - v) v = 56{,}4 \frac{M}{2g} (v - \frac{4}{5} v) \frac{4}{5} v$; daraus folgt $v = \frac{25}{29} c$, mithin $v' = \frac{20}{29} c$ und $v'' = \frac{10}{29} c$. Dadurch wird das Bewegungsmoment des ersten Rades $56{,}4 \frac{M}{2g} (c - \frac{25}{29} c) \frac{25}{29} c = 56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{100}{841} c^2$; das Bewegungsmoment des zweiten Rades $= 56{,}4 \frac{M}{2g} (\frac{25}{29} c - \frac{20}{29} c) \frac{20}{29} c = 56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{100}{841} c^2$; und das Moment des dritten Rades $= 56{,}4 \frac{M}{2g} (\frac{20}{29} c - \frac{10}{29} c) \frac{10}{29} c = 56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{100}{841} c^2$.

Würde dagegen die Wassermenge M in drei Gerinne vertheilt, sonach jedes Rad nur mit der Wassermenge $\frac{M}{3}$ betrieben, so wäre das Bewegungsmoment eines jeden Rades $= 56{,}4 \frac{M}{3 \cdot 2g} \cdot \frac{c^2}{4}$, folglich das Bewegungsmoment aller 3 Räder $= 56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{c^2}{4}$. Die Summe der Bewegungsmomente der 3 Räder in abgesonderten Gerinnen verhält sich demnach zu der Summe der Bewegungsmomente der 3 Räder in einem gemeinschaftlichen Gerinne wie $56{,}4 \frac{M}{2g} \cdot \frac{c^2}{4} : 56{,}4 \cdot \frac{M}{2g} \cdot \frac{300}{841} c^2 = 841 : 1200$ oder beinahe wie $7 : 10$; die 3 Räder in abgesonderten Gerinnen können demnach diejenige Arbeit erst in 10 Tagen verrichten, welche die 3 Räder in einem gemeinschaftlichen Gerinne in 7 Tagen zu Stande bringen.

Diese Bemerkung ist um so wichtiger, weil dasjenige Wasser, welches bei der Anwendung eines Rades theils in den Zwischenräumen zwischen den Rädern und dem Gerinne, theils auch unter den Rädern ohne anzustossen abfliesst, bei den abgesonderten Gerinnen gänzlich verloren geht, bei Anordnung dreier Räder in einem gemeinschaftlichen Gerinne aber bei den folgenden Rädern zur Verwendung gebracht werden kann. Dieser Vortheil erhellet auch aus dem Umstande, weil das Wasser bei der Anwendung dreier Räder mit der Geschwindigkeit $v'' = \frac{10}{29} c$ beinahe $= \frac{1}{3} c$ abfliesst, während das abfliessende Wasser bei abgesonderten Gerinnen die Geschwindigkeit $\frac{1}{2} c$ behält.

§. 273.

Zur Bestimmung der Kröpfung wollen wir die Tiefe des mit der Geschwin- Fig. digkeit c zufliessenden Wassers $= a$, die Tiefe des unter dem ersten Rade mit der Ge- 11. Tab. schwindigkeit $v = \frac{25}{29} c$ abfliessenden Wassers $= a'$, und eben so die Tiefe des unter dem 56. zweiten Rade mit der Geschwindigkeit $v' = \frac{20}{29} c$ abfliessenden Wassers $= a''$ und endlich die Tiefe des mit der Geschwindigkeit $v'' = \frac{10}{29} c$ unter dem dritten Rade abfliessenden Wassers $= a'''$ bezeichnen. Da nun unter allen Rädern dieselbe Wassermenge

Fig. 11. Tab. 56. a . b . c abfliesst, so haben wir $a \cdot b \cdot c = a' \cdot b \cdot {}^{25}/_{29}\, c = a'' \cdot b \cdot {}^{20}/_{29}\, c = a''' \cdot b \cdot {}^{10}/_{29}\, c$. Daraus folgt $a' = {}^{29}/_{25}\, a$, $a'' = {}^{29}/_{20}\, a$ und $a''' = {}^{29}/_{10}\, a$.

Da die letzte Wasserhöhe beinahe = 3 a ist, so kann der Fall eintreten, dass die natürliche Tiefe des Flusses kleiner ist als diese Höhe; dadurch würde das Wasser bei dem letzten Rade mit der Geschwindigkeit $v'' = {}^{10}/_{29}\, c$ nicht frey abfliessen können, sonach das letzte Rad im Stau gehen. Dieser Fall findet vorzüglich bei kleinen und seichten Flüssen Statt, wenn für dieselben eine grosse Gefällshöhe für das Wehr bewilligt wird, denn wir haben oben gefunden $a = 0{,}422 \cdot h$, folglich wäre die Tiefe unter dem letzten Rade $= {}^{29}/_{10}\, a = 1{,}224 \cdot h$. Setzen wir nun die natürliche Tiefe des abfliessenden Wassers = A, so müsste zur Vermeidung des Staues die Höhe A grösser als $1{,}224$ h seyn; wäre die Höhe des Wehres h grösser als A, so ergibt sich von selbst die Unmöglichkeit dieser Anordnung. Um dem abzuhelfen, wird die Breite des Gerinnes B grösser als die Breite zwischen den Griessäulen b gemacht. Da nun zwischen den Griessäulen die auf die Breite b beschränkte Wassermenge $= m \cdot b \cdot h \cdot {}^{2}/_{3} \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ eben so gross ist als die im Gerinne abfliessende, so können wir diese Wassermenge $= a \cdot B \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ setzen, dadurch wird $a = m \cdot {}^{2}/_{3}\, h \cdot \frac{b}{B} = 0{,}422\, h \cdot \frac{b}{B}$, folglich ist die Höhe des unter dem letzten Rade abfliessenden Wassers $a''' = {}^{29}/_{10} \cdot 0{,}422\, h \cdot \frac{b}{B} = 1{,}224 \cdot h \cdot \frac{b}{B}$, welche nun der Tiefe des Wassers im Flusse A gleichgesetzt werden kann; dadurch erhalten wir die Breite des Gerinnes $B = 1{,}224 \cdot \frac{h \cdot b}{A}$.

§. 274.

Bei allen diesen über die zweckmässigste Geschwindigkeit und Stellung der Räder, dann für die Kröpfung angegebenen Regeln wurde die Oberfläche für den Abfluss des Wassers zwischen den Mühlrädern horizontal angenommen und der Widerstand, welchen das Wasser von den Wänden des Gerinnes erfährt, noch nicht in Betrachtung gezogen. Das letztere kann ohne Anstand Statt finden, wenn die Gerinne sehr weit und die Geschwindigkeit des Wassers nicht bedeutend ist, welches hauptsächlich an grossen Flüssen der Fall ist, wo wegen Vermeidung der Uiberschwemmungen keine grosse Stauhöhe für das Wehr gestattet werden kann. Bei kleinern Flüssen hingegen, wo die natürliche Höhe der Ufer eine grössere Erhöhung des Wehres zum Vortheile der Mühle gestattet, demnach die Geschwindigkeit des Wassers im Mühlgerinne grösser wird, kann man die gleichförmige Geschwindigkeit durch eine angemessene Neigung des Gerinnebodens herstellen. Zu dieser Absicht dient die für den Widerstand des Wassers angegebene Gleichung $h = \frac{p \cdot l}{180\, f}\left(\frac{c^2}{4\, g} + \frac{c}{100\, \sqrt{d}}\right)$. Wird hierin wegen der grossen Geschwindigkeit der zweite Theil vernachlässigt und die Höhe des Wasserstandes im Gerinne = a, die Breite des Gerinnes = b, folglich die Peripherie $p = 2a + b$ und die Querschnittsfläche $f = a \cdot b$, endlich die Geschwindigkeitshöhe des Wassers $\frac{c^2}{4g} = H$ gesetzt, so ist die zur Erzielung einer gleichförmigen Geschwindigkeit nöthige Neigung des Gerinnes $\frac{h}{l} = \frac{(2a + b)\, H}{180\, a \cdot b}$.

Bossut hat nach seinen Versuchen die Neigung, welche man dem Gerinne zur Bewirkung einer gleichförmigen Geschwindigkeit geben soll $\frac{h}{l} = \frac{1}{10}$ gefunden. Diese Regel ist aber nur aus Versuchen im Kleinen abgeleitet und es haben dagegen andere mehr im Grossen angestellte Versuche gezeigt, dass das Gefälle von *Bossut* viel zu gross angegeben und mit einer offenbaren Beschleunigung des Wassers verbunden sey. Bei den Mühlen in Prag betragen die Gefälle der Mühlgerinne nur $^1/_{40}$, $^1/_{30}$ und höchstens $^1/_{24}$ ihrer Länge. Diese Gerinne sind aber nebstdem gegen ihre Ausmündung etwas erweitert und diese Erweiterung nimmt eben so wie bei dem Gefälle gleichförmig zu und beträgt $^1/_{60}$ bis $^1/_{150}$ der Länge. Auf diese Umstände muss daher bei der Anlage oder bei der Beurtheilung der Zweckmässigkeit eines solchen Wasserwerkes immer die gehörige Rücksicht genommen werden.

§. 275.

Zur grössern Deutlichkeit dieses Gegenstandes wurden in der am linken Moldauufer zu Prag angelegten Getreidemühle, deren Darstellung auf den Tafeln Nr. 57, 58 und 59 erscheint und deren umständliche Beschreibung Seite 375 folgt, in dem Mühlgerinne, wo zwei Räder, deren jedes einen Mahlgang betreibt, hinter einander stehen, am 26. Jänner 1832 alle Abmessungen vorgenommen, welche auf die Verwendung der Wasserkraft und ihre Leistung Bezug haben. Hierbei fand man die Höhe des Wasserstandes über der Hauptschwelle des Mühlgerinnes oder den Wasserspiegel des Oberwassers über der Oberfläche der Hauptschwelle = 3 Fuss 9 Zoll, die Schütze war zu dieser Zeit nur 3 Fuss 4 Zoll hoch gezogen und die Breite der Oeffnung zwischen den Griessäulen war 5 Fuss 11 Zoll = $^{71}/_{12}$ Fuss. Da die Hauptschwelle nicht in der Oberfläche des Unterwassers sondern um 1 Fuss 3 Zoll = $^{15}/_{12}$ Fuss niedriger gefunden wurde, so war die vorhandene Druckhöhe des Wassers über der Oberfläche des Unterwassers nur $(3' 9'') - (1' 3'') = 2' 6'' = {}^{30}/_{12}$ Fuss. Hieraus ergibt sich die in das Gerinne in einer Sekunde einfliessende Wassermenge, wenn man die Summe des Ausflusses für den obern Theil von $^{30}/_{12}$ Fuss Höhe nach §. 112 und für den untern Theil von $^{15}/_{12}$ Fuss Höhe, wo eine Druckhöhe von $^{30}/_{12}$ Fuss durchaus Statt findet, nach Seite 154 berechnet

$$M = {}^2/_3 \,.\, 0{,}633 \,.\, {}^{71}/_{12} \,.\, 2\sqrt{15{,}5}\,({}^{30}/_{12}\sqrt{{}^{30}/_{12}} - {}^5/_{12}\sqrt{{}^5/_{12}}) + 0{,}633 \,.\, {}^{71}/_{12} \,.\, {}^{15}/_{12} \,.\, 2\sqrt{15{,}5 \,.\, {}^{30}/_{12}} = 130{,}7 \text{ Kub. Fuss.}$$

Die Geschwindigkeit, womit das Wasser in dem Gerinne vor dem ersten Rade ankommt ist $= 2\sqrt{15{,}5 \cdot {}^{30}/_{12}} = 12{,}45$ Fuss, woraus die Höhe des Wassers vor diesem Rade, wo die Breite des Gerinnes 6 Fuss ist, $a = \frac{130{,}7}{6 \,.\, 12{,}45}$ Fuss = 21 Zoll folgt. Da die wirkliche Messung an diesem Orte 22 Zoll gab, so wird die Richtigkeit der vorhergehenden Rechnung hierdurch hinlänglich bestättigt.

Unter dem zweiten Rade war die Breite des Gerinnes sehr nahe = 7 Fuss und die gemessene Höhe des Wasserstandes = 2 Fuss. Daraus folgt die Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers $v' = \frac{130{,}7}{7 \,.\, 2} = 9{,}34$ Fuss.

Aus diesen Daten können wir das gesammte Bewegungsmoment des Wassers berechnen, welches zur Betreibung der zwei Mahlgänge verwendet wurde. Dieses

ist nämlich $= 56{,}4 \,.\, 130{,}7 \left(\frac{12{,}45 - 9{,}34}{31}\right) 9{,}34 = 6907$. Mit diesem Bewegungsmomente wurden in einem Tage 30 Metzen Korn auf beiden Gängen zusammengenommen vermahlen und dabei 6 mal aufgeschüttet; demnach ist zur Vermahlung eines Metzens in 24 Stunden bei 6maligem Aufschütten das Bewegungsmoment 230 nothwendig. Weil aber bei der Vermahlung des Kornes zu ordinärem oder Militärbrodmehl nur 3 mal aufgeschüttet wird, und in dieser Hinsicht von demselben Bewegungsmomente in gleicher Zeit 2 Metzen Korn vermahlen werden, so beträgt das nöthige Bewegungsmoment für einen Metzen Korn nur 115.

Dieses Resultat stimmt mit andern Beobachtungen, die in frühern Jahren bei oberschlächtigen Mühlen in Böhmen angestellt wurden, sehr nahe überein, welchem zu Folge das Bewegungsmoment von 100 im Mittel zur Vermahlung eines Metzens Korn binnen 24 Stunden benöthigt wird. Hieraus folgt, dass bei den böhmischen Wassermühlen von einer Pferdekraft in 24 Stunden nur 4 Metzen, folglich in einer Stunde nur $\frac{1}{6}$ Metzen gemahlen werden können.

Wenn wir diess Resultat mit den Seite 364 angeführten Erfahrungen des Herrn *Egen* zusammen halten, so ist dasselbe höchstens ein Drittel von den Erfahrungen des Herrn *Egen*, bei welchen aber die Art der Vermahlung und die Anzahl der Aufschüttungen nicht genau angegeben erscheint. In dieser Hinsicht lässt sich der bedeutende Unterschied zwischen jenen und den hierortigen Erfahrungen nur dann aufklären, wenn die Manipulazion bei dem Vermahlen und das gewonnene Produkt genauer beschrieben wird.

Wir wollen noch das für die Bewegung zweier Räder verwendete Bewegungsmoment, welches wir $= 6907$ fanden, mit demjenigen Momente vergleichen, das wir §. 270 für die Benützung des Wassers durch zwei Räder in einem Gerinne angegeben haben. Nach der daselbst aufgestellten Formel beträgt nämlich das grösste Bewegungsmoment für jedes Rad $56{,}4\, M \cdot \frac{8}{25} \cdot \frac{c^2}{4\,g}$. In unserm Falle ist $M = 130{,}7$ und $\frac{c^2}{4g} = 30$ Zoll $= 2{,}5$ Fuss, demnach das Bewegungsmoment für ein Rad $56{,}4 \,.\, 130{,}7 \cdot \frac{8}{25} \cdot 2{,}5 = 5897$ und für beide Räder $= 11794$. Wird von dieser Summe das wirklich verwendete Bewegungsmoment 6907 abgezogen, so bleibt noch das Bewegungsmoment 4887 übrig. Wir sehen, dass dieses mehr als hinreichend ist, noch e i n d r i t t e s R a d in dasselbe Gerinne zu stellen, welches auch in derselben Mühle in dem nächst anliegenden Gerinne, worein auch nur dieselbe Wassermenge fliesst, bereits geschah und von allen übrigen Mühlen in Prag, wo gröstentheils drei Räder in einem Gerinne gehen, mit dem bekannten guten Erfolge bestehet. Auch hat der Eigenthümer der Mühle Herr *Wiskočil* bei Vornahme der Abmessung des Gerinnes erklärt, dass im Falle des Bedarfes von denselben zwei Gängen, welche am Tage der Abmessung zusammen nur 30 Metzen feines Mehl (bei 6maligen Aufschütten) lieferten, ein Quantum von 42 Metzen desselben feinen Mehles geliefert werden könne, wozu jedoch alle 30 Schaufeln in das Rad eingesetzt werden müssen, während zur Zeit der Abmessung 6 hiervon heraus geschlagen waren.

Uibrigens muss hierbei noch bemerkt werden, dass bei diesen Rädern die Schaufeln nur 7 bis 8 Zoll zur Höhe haben, wogegen das Wasser im Gerinne 20 bis 24 Zoll hoch fliesst, und dass ferner die Räder nicht genau in das Gerinne passen, sondern sowohl unter denselben den Spielraum von $2\frac{1}{2}$ Zoll als zur Seite den Spielraum von 3 Zoll

haben, um dem Anfrieren im Winter nicht zu unterliegen, dass sonach in diesen Hinsichten sehr viel Wasser ober und unter den Schaufeln und von beiden Seiten unbenützt abfliesst. Dieses Wasser kommt zwar zum Theile den folgenden Rädern wieder zu gut, es kann jedoch in keinem Falle eine so grosse Wirkung hervorbringen, als dann Statt finden würde, wenn die Höhe der Schaufeln der Höhe des Wassers im Gerinne gleich wäre und überdiess die wegen mehreren Ursachen unvermeidlichen Spielräume am Boden des Gerinnes und an den Seitenwänden nicht vorhanden wären.

Aus der ganzen Berechnung dieser Mühle sehen wir, dass die Grösse des Wasserstosses nur aus dem Gewichte der in einer Sekunde herbeifliessenden Wassermenge und aus dem Unterschiede der Geschwindigkeiten, mit welchen das Wasser gegen die Radschaufeln fliesst und hinter denselben wieder abfliesst, berechnet wurde, weil offenbar nur der Unterschied dieser Bewegungen der Kraft beigemessen werden kann, womit die Räder betrieben wurden, und deren Rückwirkung im Gegentheile das Wasser im Schussgerinne aufgehalten hat. Da bereits sehr viele Versuche über die Benützung des Wassers in Mühlgerinnen gemacht worden sind und noch gemacht werden dürften, so glaubt man dieses Verfahren denjenigen, die sich mit solchen Versuchen beschäftigen, um so mehr empfehlen zu dürfen, als die angeführten unbenützten Abflusswege und die übrigen Widerstände, welche hier eintreten, mit hinlänglicher Genauigkeit nicht wohl ausgemittelt werden können.

§. 276.

Bei der Anlegung einer Mühle wird es demnach darauf ankommen, zuerst die Wassermenge zu bemessen, auf deren Benützung man mit Sicherheit rechnen kann, und dann das Gefälle auszumitteln, wie hoch das Wasser durch den Bau eines Wehres gestaut werden dürfe, um hieraus die Geschwindigkeit zu berechnen, mit welcher das Wasser gegen die Mühlräder geleitet werden kann. Da die Hauptschwellen gewöhnlich in die Oberfläche des Unterwassers gelegt werden, so wird sich dem gemäss nach §. 264 die Höhe des Wassers im Mühlgerinne und nach §. 274 die Neigung des Mühlgerinnes bei einem, dann nach §. 271 und 273 dieselbe Neigung für zwei oder drei Räder, die hintereinander in einem Gerinne aufgestellt werden, bestimmen lassen.

Aus der herbeifliessenden Wassermenge M und aus der Höhe H des Wassers vor den Mühlschützen findet man das zu benützende vortheilhafteste Bewegungsmoment für ein Rad $= 56{,}4\, M \cdot \frac{H}{2}$.

Aus diesem Produkte wird die Anzahl der Mahlgänge im Gerinne bestimmt, welche von diesem Bewegungsmomente betrieben werden können. Hierbei ist nun hauptsächlich sowohl die Grösse der in jedem Lande üblichen Mühlsteine, die Anzahl der Metzen oder Scheffel, welche mit einem solchen Steine in 24 Stunden gemahlen werden und das hierzu erforderliche Bewegungsmoment zu berücksichtigen. Da wir bereits angeführt haben, dass die Seite 364 aufgestellten Erfahrungen über das Mahlquantum, welches von einer Pferdekraft bewirkt werden kann, nicht mit jenem Detail in den hierüber erschienenen Schriften angegeben sind, was zur genauen Beurtheilung der Vermahlungsmethode und des gewonnenen Produktes nothwendig ist, so

können wir uns auch vorläufig nur an die in Böhmen übliche Vermahlungsart des Korns und Weizens zu Mehl halten.

Bei der am 26. Jänner 1832 in der *Wiskočil*'schen Mühle vorgenommenen genauen Beobachtung wurden binnen 24 Stunden von dem Seite 370 berechneten Bewegungsmomente 6907, oder 7000 (demnach von beiden Gängen zusammen) 20 böhm. Strich $= 20 \cdot 1{,}522 = 30{,}4$ oder 30 N. Oe. Metzen Korn zu feinem Mehl gemahlen und dieses hierbei 6mal aufgeschüttet. Wird Weizen gemahlen, so wird derselbe zur Gewinnung des feinen Mehles 5 bis 6mal aufgeschüttet, welches auch bei sehr gutem Korn der Fall ist. Mit demselben Bewegungsmomente kann aber binnen 24 Stunden das doppelte Quantum oder 40 Strich = 60 Metzen gröberes Kornmehl (sogenanntes Magazinmehl) erzeugt werden, wenn das Korn nur dreimal aufgeschüttet wird; dieses Mehl wird in die Magazine des k. k. Militärs geliefert und zum Backen des Militär- oder Kommissbrodes verwendet. Nach der bestehenden Vorschrift müssen von 1 Strich = 116 N. Oe. Pfund Korn, 108 ℔ Magazinmehl und 6 ℔ Kleie abgeführt werden; es ist daher nur ein Abgang von 2 ℔ gestattet. — Wenn endlich von denselben zwei Rädern nur Schrot für Brauhäuser erzeugt wird, wobei nur eine einmalige Aufschüttung Statt findet, so beträgt das Quantum binnen 24 Stunden 6mal so viel als im ersten Falle, nämlich 120 Strich = 180 Metzen. — Die Mühlsteine, deren man sich hierbei bedient, haben, nämlich die Läufer zu Anfange ihres Gebrauches eine Höhe von 31 bis 34 Zoll, der Bodenstein aber nur 12 bis 14 Zoll Höhe. Der Durchmesser der reibenden Fläche beträgt 31 N. Oe. Zoll, der Läufer ist aber gegen oben etwas konisch und hat oben 30 N. Oe. Zoll. Der Durchmesser der Oeffnung oder das Läuferauge beträgt $8\frac{1}{2}$ N. Oe. Zoll.

Um nun auch die Anzahl der Umläufe des Läufers in einer Minute genau zu bestimmen, wurde die Zeit einer Umdrehung des Wasserrades mit einer guten Sekundenuhr beobachtet. Das erste Rad zunächst der Mühlenschütze machte genau 9 Umläufe in 61 Sekunden, wogegen die Zeit eines Umlaufes bei dem zweiten Wasserrade 8 Sekunden war. An der Welle eines jeden Wasserrades ist ein Stirnrad mit 66 Zähnen und $4\frac{1}{2}$ Zoll Theilung befestigt, welches demnach in gleicher Zeit wie das Wasserrad seine Umläufe zurücklegt. Dieses Stirnrad greift bei jedem Gange in einen, an einer zweiten horizontalen Welle befindlichen Drehling mit 16 Triebstöcken. An der Welle dieses Drehlings ist bei beiden Gängen ein Kammrad mit 60 Kämmen und $3\frac{3}{4}$ Zoll Theilung befestigt. Dieses greift in das Getriebe an der Mühlspindel, welches bei dem ersten Gange 9, bei dem zweiten 8 Triebstöcke hat. Hieraus folgt die Anzahl der Umdrehungen des Mühlsteines bei dem ersten Gange in einer Minute $= \frac{9 \cdot 60}{61} \cdot \frac{66}{16} \cdot \frac{60}{9} = 243{,}4$ und bei dem zweiten Gange $= 7{,}5 \cdot \frac{66}{16} \cdot \frac{60}{8} = 232$. Das Mittel von beiden gibt beinahe 238 Umdrehungen in einer Minute, wie wir bereits Seite 360 angeführt haben. — Da die Mühlsteine bei beiden Gängen von gleicher Grösse sind und auch beinahe dieselbe Anzahl Umdrehungen in einer Minute zurücklegen, so wird auf jedem Gange in 24 Stunden dasselbe Mahlquantum bis auf einen unbedeutenden Unterschied erzeugt.

Wenn auf den Mühlen, wie es häufig geschieht, Korn zu ordinärem Brodmehl vermahlen und diess nur 3mal aufgeschüttet wird, so kann man nach vorstehender genau erhobener Erfahrung annehmen, dass mit einem Bewegungsmoment von 3500 in 24 Stunden 30 Metzen

gemahlen werden können. Diess gibt für 1 N. Oe. Metzen ein Bewegungsmoment von 117· oder in runder Zahl von 100. Diese Zahl wird sich dann genauer bestimmen, und auch die Vortheile der einen oder andern Bauart Mühlen z. B. der amerikanischen oder englischen gegen die deutschen näher angeben lassen, wenn bei diesen Mühlen eben so umständliche Beobachtungen angestellt und bekannt gemacht werden, als sie hier bei der *Wiskočil*'schen Mühle in Prag angeführt wurden.

Wird nun eine Mühle mit gleicher Einrichtung wie diese in Prag angelegt, so braucht man bloss das für die neue Anlage berechnete Bewegungsmoment $56.4\,M \cdot \frac{H}{2}$ mit 3500 zu dividiren, um die Anzahl der Mahlgänge zu erhalten, bei deren jeder Stein mit einem Durchmesser von 31 Zoll zu versehen ist und wo dann auch jeder Gang binnen 24 Stunden das Mahlquantum von 30 Metzen Kornmehl, welches 3 Mal aufgeschüttet wurde, liefern wird. Wollte man aber einen Mühlstein mit anderm Durchmesser annehmen, so lässt sich derselbe aus der Betrachtung ableiten, dass das während gleicher Zeit gemahlene Quantum offenbar von der Fläche der Mühlsteine abhängt, im Falle dieselben in ihrem Schwerpunkte eine gleiche Geschwindigkeit haben. Nennen wir nun S die Anzahl Metzen, welche in 24 Stunden mit einem Mühlsteine, dessen Durchmesser x ist, gemahlen werden sollen und setzen, dass hierbei, wie es gewöhnlich der Fall ist, das Läuferauge dieselbe Grösse behält, so ergibt sich der Werth von x aus der Proporzion

$\frac{11}{14} \cdot 31^2 - \frac{11}{14} \cdot (8{,}5)^2 : 30 = \frac{11}{14} \cdot x^2 - \frac{11}{14} \cdot (8{,}5)^2 : S$, woraus x in Zollen $= \sqrt{29{,}625\,S + 72{,}25}$.

Es versteht sich von selbst, dass bei einem grössern Mühlsteine, womit in 24 Stunden mehr vermahlen wird, auch das nöthige Bewegungsmoment in diesem Verhältnisse grösser seyn müsse.

Wenn auf die angeführte Art sowohl das tägliche Mahlquantum, als auch der Durchmesser des Mühlsteines bestimmt ist, so kommt es nur noch darauf an, die Verhältnisse des Triebwerkes so auszumitteln, damit der Mühlstein mit der nöthigen Geschwindigkeit umgehen möge. Setzen wir zu dieser Absicht die Geschwindigkeit des Mühlsteines an seiner Peripherie C = 32 Fuss, den Durchmesser desselben = D, jenen des Wasserrades = A, die Geschwindigkeit der Radschaufeln = v und das Verhältniss, wie oft der Mühlstein bei einem Umgange des Wasserrades umlaufen müsse = n, so ist die Zeit eines Umganges des Wasserrades $= \frac{\pi \cdot A}{v}$ und die Zeit eines Umganges des Mühlsteines $= \frac{\pi \cdot D}{C}$. Demnach verhält sich $\frac{D}{C} : \frac{A}{v} = 1 : n$, woraus $n = \frac{A}{D} \cdot \frac{C}{v}$ folgt.

Beispiel. Es sey $A = 16{,}5$ Fuss, $D = \frac{32}{12}$ Fuss, $C = 32$ und $v = 8$ Fuss, so ist $n = \frac{16{,}5 \cdot 12}{32} \cdot \frac{32}{8} = 24{,}75$.

Diese Zahl n wird nicht weiter in Faktoren zerlegt, wenn ein Kammrad allein hinreicht, dem Mühlsteine die gehörige Geschwindigkeit zu geben. In diesem Falle verhält sich die Anzahl der Kämme des Kammrades, welches an der Welle des Wasserrades befestigt ist, zur Anzahl der Triebstöcke im Getriebe an der Mühlspindel = n : 1. Wenn aber die Geschwindigkeit kleiner ist, so muss n in zwei schickliche Faktoren für die zwei Verhältnisse bei dem Vorgelege zerlegt werden. Diese zwei Verhältnisse pflegen

jedoch die Müller nur beiläufig und zwar so anzunehmen, dass bei dem ersten Rade dasselbe etwas kleiner, bei dem zweiten grössern Rade des Vorgeleges aber etwas grösser ausfällt. In unserm Falle könnte man statt 24,75 die nächste Zahl 24 annehmen und diese nun in die 2 Faktoren 4 und 6 zerlegen. Das Verhältniss des Stirnrades zum ersten Drehling wäre nun = 4 : 1 und das Verhältniss des Kammrades zum Getriebe = 6 : 1 anzunehmen. Man könnte demnach dem Stirnrade 60 Kämme und dem Getriebe 15 Stöcke, dem Kammrade aber 48 Kämme und dem Drehling 8 Stöcke geben, wodurch die verlangte Geschwindigkeit so wie durch eine jede andere Zerlegung des Werthes von n in die gehörigen Faktoren bewirkt wird.

§. 277.

Nachdem wir in den vorigen §. §. die Grundsätze der Benützung des Wassers bei der Bewegung unterschlächtiger Mahlmühlen abgehandelt haben, übergehen wir nunmehr zu einer vorzüglichen praktischen Anwendung des bisher vorgetragenen, nämlich zur Detailbeschreibung der Getreide-Mahlmühlen. Der Zweck dieser Mühlen ist das Zermahlen oder Zerreiben des Getreides und das Sieben desselben, d. h. das Absondern des Mehles von den Kleien und Hülsen der Getreidekörner. In den ältesten Zeiten wurden diese Körner in Mörsern gestampft und dann ausgesiebt, welches beides durch Taglöhner, bei den Römern vor Erfindung der Getreidemühlen durch Sklaven bewirkt wurde. Bei den gegenwärtig gebräuchlichen Mühlen wird das Zerreiben durch zwei Steine, das Sieben aber durch das sogenannte Beutelzeug bewirkt.

Die zwei Steine, welche das Getreide zerreiben, sind flache, auf einanderliegende Zylinder von ungleicher Härte, wovon der untere der Bodenstein, der obere aber der Läufer heisst. Beide Steine sind an den zwei Flächen, zwischen welchen das Getreide zerrieben wird, mit kleinen Furchen eingehauen. Der Bodenstein sitzt in dem Mühlgebäude fest auf und bewegt sich nicht, der Läufer aber wird durch eine eiserne Achse oder Spindel von unten aus bewegt, damit die obere Oeffnung desselben zum Einschütten des Getreides frei bleibt. Da der Läufer auf dem Bodensteine nicht gerade aufsitzt, sondern in einer bestimmten, der Zerreibung des Getreides angemessenen Höhe über demselben erhalten wird, so sieht man leicht, dass das hineingefallene Getreide zwischen den Steinen zermahlen oder zerrieben, durch die Form der eingehauenen Furchen und durch die Schwungkraft auf die Seite getrieben werde und am Rande der Steine heraus komme. Damit nun das zerriebene Getreide nicht auf allen Seiten entweiche, wird eine hölzerne Butte, die bloss auf einer Seite ein Mehlloch hat, über die Steine gestürzt und das gemahlene Getreide auf diese Weise bloss durch die eine Oeffnung abgeführt. Da der Zweck der ersten Operazion des Mahlens vorzüglich in dem Zerreissen und Zerschroten der Körner besteht, so enthält das hierbei gewonnene erste Produkt gewöhnlich nur einen kleinen Theil Mehl, welches durch Sieben davon abgesondert werden muss. Zu diesem Ende wird ein Sack von einem eigends hierzu bereiteten Gewebe oder Zeug, Beuteltuch genannt, an das Mehlloch befestigt; dieser Sack hat eine schiefe Lage gegen seine untere Offnung und der Grad der Feinheit des Zeuges, woraus er verfertigt ist, bestimmt auch die Feinheit des Mehles, welches durch denselben durchfallen soll. Zur

Erleichterung des letztern wird der Beutelsack beständig hin und her bewegt, d. h. gebeutelt, wodurch das Mehl in den darunter stehenden Mehlkasten fällt und der übrige Theil von den anfangs nur gröblich zerrissenen Körnern an dem untern offenen Ende des Beutelsackes herausgeht. Aus dem herausgefallenen Schrot wird durch eine zweite und mehrmalige Operazion das übrige Mehl gewonnen. Diess sind die Hauptoperazionen, welche bei dem Mahlen des Getreides vorkommen.

§. 278.

Wir übergehen nunmehr zur Darstellung und Beschreibung der einzelnen Theile einer Mühle und wollen hierzu die in Prag bestehende unterschlächtige Getreidemühle des Herrn *Wiskočil* wählen. Die Darstellung derselben ist auf den Kupfertafeln Nro. 57, 58 und 59 enthalten. Diese Mühle hat fünf Gänge, welche am linken Moldauufer an einem daselbst befindlichen Flussarme liegen. Es gehören hierzu drei Gerinne oder Fluther, in deren einem zwei Räder, in dem andern drei Räder stehen, das dritte aber das Freigerinne oder sogenannte galte Fluther ist, in welchem nämlich bei hohen Wässern das überflüssige Wasser abgeführt wird. Da alle Gänge in ihrer Konstrukzion übereinstimmen, so wurde in den Kupfertafeln nur das Gerinne mit zwei Wasserrädern und den zugehörigen Gängen, dann das darneben liegende Freigerinne aufgenommen, jedoch das Gerinne mit drei Wasserrädern und den zugehörigen drei Mühlgängen ausgelassen. Die Tafel 57 enthält den Grundriss des Fluthwerkes und Gehwerkes zweier Gänge, die Tafel 59 den Längendurchschnitt durch das Mühlgerinne vor beiden Rädern, auf der Tafel 58 aber erscheint Fig. 1 die vordere Ansicht der Gerinne vor den Schützen, welche durch das Gebäude verlängert die Seitenansicht des Gehwerkes (Fig. 2) gibt. Fig. 3 enthält die vordere Ansicht und Fig. 4 den Durchschnitt des Gehwerkes, endlich Fig. 5 bis 16 die Darstellung der vorzüglichsten einzelnen Theile desselben. Zur deutlichern Ersichtlichmachung sind auf allen drei Kupfertafeln die einzelnen Theile mit gleichen Buchstaben bezeichnet worden. Tab. 57, 58 und 59.

Die Schütze eines jeden Gerinnes, welche auf Tafel 57 im Grundrisse, auf 58 in der vordern Ansicht und auf 59 im Durchschnitte erscheint, besteht aus einem Ober- und Unter- dann zwei Querriegeln von Eichenholz, welche, wie in der Zeichnung dargestellt ist, an einander gefügt und mittelst zwei starker Schrauben an den Aufzugbaum A befestigt sind. Zwischen diesen Riegeln sind weiche zwei Zoll starke Pfosten möglichst gut an einander gefügt, damit kein Wasser durchdringen könne. Der Aufzugbaum A ist von Eichenholz, 5 Zoll breit, 7 Zoll stark und mit einer doppelten Reihe 5 Zoll von einander entfernter Löcher zum Behufe des Aufziehens der Schütze, und oben an der Seite mit einer Reihe von eisernen Zähnen versehen. Derselbe geht durch den 18 Zoll breiten und 15 Zoll hohen Holm oder Fachbaum B von Eichenholz, auf welchem ein Sperrhacken befestigt ist, durch dessen Einlegen in die eisernen Zähne des Aufzugbaumes das Zurückfallen des letztern und der Schütze verhindert wird. Die Schütze läuft zwischen den Griessäulen C, C (Tab. 57), welche mit 4½ Zoll breiten und 7 Zoll tiefen Falzen versehen sind. Zur Verminderung der Reibung bei dem Aufziehen sind in diesen Falzen Eisenschienen angenagelt. Das Aufziehen der Schütze geschieht mittelst eines Hebebaumes.

Die Hauptschwelle oder der Fachbaum D, welcher Tab. 59 im Durchschnitte am besten ersichtlich ist, muss nach der gesetzlichen Bestimmung für diese

Tab. Mühle 42 Zoll böhm. Maass = 40 Zoll N. Oe. Maass unter der Wehre liegen, oder der
57, Abstand des Wehrrückens von der Oberfläche der Schwelle muss 40 N. Oe. Zoll betra-
58 und gen. Zu diesem Behufe ist oberhalb der Schütze auf der Entfernung von einigen Fussen von
59. derselben ein Normalpfahl fest in den Fluss geschlagen, dessen Oberfläche 40 N. Oe. Zoll über der Oberfläche der Hauptschwelle liegt. Da aber unterhalb dieser Mühle ein zweites Wehr liegt, welches bei dem Normalstande des Wassers einen Rückstau von 10 Zoll verursacht, so beträgt bei unserer dargestellten Mühle der Unterschied vom Oberwasser bis zum Unterwasser nur 40 — 10 = 30 Zoll. Die Oberfläche der Schütze oder die Höhe des obern Querriegels derselben pflegt man gewöhnlich der Höhe des Normalpfahles gleich zu machen, damit kein Wasser darüber fliessen und die Räder, im Falle ganz zugeschützt ist, zum Stillstande gebracht werden können. Zur Zeit als der Wasserspiegel in der Moldau dem Wehrrücken gleichkommt, steht daher das Wasser vor der Schütze auch bis zum obersten Punkt ihrer Höhe, im Falle sie geschlossen ist; für diesen Fall wird die Schütze im Freigerinne ganz geschlossen, die Schützen der Mühlgerinne aber ganz (oder beinahe ganz) aufgezogen, so dass die ganze Wassermenge ohne durch die Schütze gehemmt zu werden, in das Gerinne gegen die Räder strömt. Steigt aber das Wasser in der Moldau um einige Zoll, so wird die Mühlschütze nur auf die Höhe des Normalpfahles aufgezogen, und die Schütze bleibt daher einige Zoll tief im Wasser. Auf die Schütze des Freigerinnes pflegt man alsdann eine Pfoste aufzusetzen, um das Einströmen des Wassers in das Freigerinne zu verhindern. Steigt endlich das Wasser in der Moldau noch höher, so wird die Schütze des Freigerinnes aufgezogen und dem überflüssigen Wasser hierdurch der ungehinderte Ablauf gestattet. Damit endlich die Schütze, wenn sie geschlossen wird, auch unten kein Wasser durchlasse, ist die Hauptschwelle D, welche 15 Zoll breit und 16 Zoll hoch ist, an ihrem obern Theile mit zwei Falzen versehen, wovon der eine für die Schütze, der andere aber für den Gerinneboden bestimmt ist.

Vor der Schwelle befindet sich eine 11 Zoll starke Spundwand E, welche wie im Grundrisse Tab. 57 ersichtlich ist, zusammengefügt wird; der Zweck derselben besteht darin, das Eindringen des Wassers unter den Gerinnboden zu verhindern. Vor der Spundwand befindet sich eine Reihe Rundpfähle F, welche durch die Schwelle G mitsammen verbunden werden und sowohl zur bessern Versicherung als zur genauern Einrammung der Spundwand dienen.

Das Gerinne besteht aus 3zölligen Pfosten H, welche mit starken eisernen Nägeln an die Wandpfähle J und Grundschwellen K befestigt werden. Die Grundpfähle L sind rund, $10^1/_2$ Zoll stark, von Kiefernholz und oben in die Grundschwellen K eingezapft. Die Wandpfähle J sind eben so stark, jedoch von Eichenholz und ausserhalb des Grundes abgezimmert. Es ist jedoch wegen des baldigen Faulens des obern Theiles auch üblich, die Wandpfähle unter dem Wasserstand nach der Länge des Gerinnes abzuschneiden, zu verschwellen und hierauf eigene Wandstühle aufzuzapfen. In einem und dem andern Falle wird die Weidebank M auf die Wandpfähle aufgezapft. Zur Verhinderung des Ausflusses des Wassers in den Ecken des Gerinnes und zur bessern Anschliessung des Wassers an die Schaufeln der Wasserräder wird in den beiderseitigen Ecken des Gerinnes ein eichenes nach der Stärke der Pfosten falzartig ausgehöhl-

tes $7^1/_2$ Zoll starkes Holz N eingelegt. Die Breite des Gerinnes zwischen den Griessäulen beträgt 5 Fuss 11 Zoll N. Oe. Maass; das Gerinne ist auf seiner ganzen Länge gleichförmig geneigt und erweitert sich ebenfalls gleichförmig. Das Gefälle des 13 Klafter 5 Fuss langen Gerinnes beträgt 3 Fuss 4 Zoll, mithin 2,9 Zoll per Klafter. Die Erweiterung des Gerinnes auf dieselbe Länge beträgt bloss 6 Zoll. Tab. 57, 58 und 59.

§. 279.

Die Wellen der Wasserräder sind von Eichenholz, 19 Zoll stark, mit eisernen Ringen hinreichend beschlagen und mit schmiedeisernen Wellzapfen von 3 Zoll Stärke versehen. Die Lager dieser Zapfen sind in die sogenannten Angewellen O sowohl von aussen als auch in der Mühle eingelegt; diese sind dergestalt eingerichtet, dass sie durch Herausnahme der Keile nach Aussen geschoben und das Zapfenlager herausgenommen werden kann.

Die Bauart der unterschlächtigen Wasserräder in Prag zeichnet sich durch ihre Leichtigkeit und hinreichende Festigkeit aus. Die Arme dieser Räder sind 5 Zoll breit, 3 Zoll stark und sämmtlich durch die Welle durchgesteckt. Auf dieselben sind zwei Kränze befestigt, deren jeder aus 6 einfachen Felgen, die an den Armen zusammenstossen, besteht. An diesem Orte sind nun die anstossenden Felgen mit einer zweiten 5 Fuss langen und $2^1/_2$ Zoll starken Felge PQ durch Nägeln fest zusammengebunden. Die Arme sind am Ende nach der Stärke und Breite der zwei überlegten Felgen eingeschnitten. Die hölzernen Schaufeln werden bloss mit umgebogenen Wieden von einem zähen Holze und mit hölzernen Keilen an die beiden Radkränze befestigt, wie der Grundriss Tab. 57 und Seitenansicht Tab. 59 deutlich ausweist. Das erste Rad zunächst der Schütze misst im Durchmesser $10^1/_2$ böhm. Ellen = 19,7 N. Oe. Fuss; das zweite aber $11^1/_2$ Ellen = 21,6 Fuss. Die Achsen der Wellen beider Räder liegen auf gleicher Höhe. Die Zahl der Schaufeln bei einem jeden Rade beträgt 30, eine jede von 8 Zoll Höhe, und es stehen jedesmal 4 Schaufeln zugleich im Wasser und nebstbei ist noch eine Schaufel im Eintritte begriffen. So wie jedoch das Wasser den Wehrrücken oder den Normalpfahl um etwas übersteigt, werden einige Schaufeln herausgeschlagen, um die Geschwindigkeit des Wasserrades hinsichtlich der Mühlsteine dadurch zu mässigen.

§. 280.

Jeder Gang ist mit einem Vorgelege versehen, zu welchem Behufe an der Welle eines jeden Wasserrades ein Stirnrad RR befestigt ist. Der Durchmesser eines jeden Stirnrades beträgt im Theilriss, oder auf $^2/_3$ der Kammlänge von der Peripherie des Rades an gemessen 7 Fuss 3 Zoll, böhm. Maass. Ein jedes Stirnrad hat 66 Kämme mit $4^1/_2$ Zoll Theilung und zwar in doppelter Reihe. Diese Kämme greifen in den Drehling S, dessen Stöcke an dem Umfange einer zweiten eichenen Welle befestigt sind. Die Zahl der Triebstöcke an beiden Drehlingen ist 16. An derselben Welle ist ein Kammrad TT befestigt, welches bei beiden Gängen ebenfalls von gleicher Grösse ist. Der Durchmesser beider Kammräder beträgt nämlich im Theilrisse 5 Fuss 11 Zoll und die Anzahl der Kämme ist 60 mit $3^3/_4$ Zoll Theilung. Endlich greift dieses Kammrad in das Getriebe U, welches bei dem ersten Mühlgange 9, bei dem zweiten aber nur 8 Triebstöcke hat.

§. 281.

Tab. 57, 58 und 59. Das letzte Getriebe ist an einer eisernen Welle, der sogenannten Mühlspindel oder dem Mühleisen l befestigt. Dieselbe ist im doppelten Maasse Fig. 15 dargestellt. Auf die eiserne Mühlspindel wird ein genau passendes Quereisen k, Haue genannt, aufgesteckt, welches Fig. 8 in der obern Ansicht, Fig. 9 in der Seitenansicht, Fig. 10 im Längendurchschnitt und Fig. 11 in der Ansicht von unten dargestellt ist. Auf dieser Haue ruht nun der Läufer, welcher demnach von der Mühlspindel getragen wird. Die letztere geht durch den Bodenstein, und ist daselbst mit einem Buchse a umgeben, welcher in den Bodenstein fest gekeilt und oberhalb mit Leinwand umwunden wird, damit kein Getreide oder Mehl durchfallen könne. Dieser Buchs (Büchse) ist zur Hälfte von Birken- oder Erlenholz, zur Hälfte von Eisen verfertigt. Damit die Mühlspindel ihren konzentrischen, vertikalen Gang erhalte und nach Erforderniss des Mahlens etwas höher oder niedriger gestellt und somit der Läufer auch gehoben oder gesenkt werden könne, ruht dieselbe in einem Zapfenlager oder einer Pfanne, welche Fig. 12 in der obern Ansicht, Fig. 13 im Längendurchschnitt und Fig. 14 im Querdurchschnitt dargestellt ist. Dieses Lager ist in einem hinlänglich starken hölzernen Hebel dem Stege b eingelassen, welcher auf den zwei Tragbänken c und c′ ruht. Hiervon wird c′, wie man am besten Fig. 2 sieht, mittelst der Hebeschiene d, der Hebeleiste e und einiger darunter geschobenen Keile e′ höher oder niedriger gestellt und damit auch das Mühleisen sammt dem Läufer gehoben oder gesenkt. Bei andern Mühlen pflegt man die Hebeschiene d an ihrem obern Ende mit Gewinden zu versehen, welche durch eine Schraubenmutter im Boden des Gebäudes gehen und auf die gewöhnliche Art mittelst einer Kurbel gehoben oder gesenkt werden.

Wenn das Getreide das erstemal aufgeschüttet wird oder das erstemal zwischen die Mühlsteine kommt, so müssen die Steine am weitesten von einander gestellt, bei jeder spätern Aufschüttung immer mehr herabgelassen und bei den feinsten Mehlgattungen am meisten genähert werden.

§. 282.

Der Bodenstein liegt in dem Steinkasten zwischen den Steinriegeln fest und wird an seiner Oberfläche genau wagerecht gestellt. In dieselbe werden Rinnen in geraden Linien von dem Mittelpunkte des Steines gegen seine Peripherie zu ausgehauen, wie Fig. 6 dargestellt ist. Bei grössern Steinen werden am Umfange derselben, wo die Entfernung dieser Rinnen zu gross wäre, noch kürzere solche Vertiefungen ausgehauen.

Der Läufer, welcher im Durchschnitte Fig. 5 erscheint, hat eine hinauf zu etwas konische Gestalt, und ist mit einer eben so grossen Oeffnung in seiner Mitte (Läuferauge genannt), nebstdem aber an seinem untern Theile mit einer viereckigen Oeffnung zur Aufnahme der Haue, auf welcher der Läufer fest sitzt, versehen. Der Läufer wird in krummen Linien gehauen, wie Fig. 7 darstellt, und zwar laufen alle diese Linien vom Mittelpunkte des Steines aus und gegen die Peripherie desselben zu, damit auf diese Weise die Körner, nachdem sie an dem Bodensteine zerrieben wurden, an den Umfang desselben herausgetrieben werden. Die krumme Linie, nach welcher die Läufer gehauen werden, ist eine logarithmische Spirallinie, welche die Eigenschaft hat, dass alle geraden vom Mittelpunkte gezogenen Linien bei dem Durchschnitte

mit der krummen Linie einen gleichen Winkel bilden. Die Müller pflegen sich diese krumme Linie zu verzeichnen, auf einem Brete aufzureissen, dieses hiernach auszuschneiden und nun als Schablone bei dem Behauen oder Schärfen der Mühlsteine zu benützen. Uibrigens pflegt man bei den Schärfungen mit den krummen und geraden Linien abzuwechseln, so dass der Läufer einmal krumm und das anderemal wieder gerade und der Bodenstein immer auf die entgegengesetzte Art gehauen wird. Tab. 57, 58 und 59.

Die Mühlsteine, zwischen welchen das Getreide gemahlen wird, müssen von der Art seyn, damit sie die Körner angreifen und gleichsam zerschneiden, dann sich jedoch nicht so leicht abnützen. Harte Sandsteine, welche bimstein- und gleichsam glasartig sind, eignen sich vorzüglich dazu. In Prag bedient man sich der Sandsteine aus dem 2½ Meilen entfernten *Žehrowitzer* oder *Dogeser* Bruche, von welchen der grösste Theil der Brücke in Prag gebaut worden seyn soll. Zum Mahlen des ganz feinen Mehles gebraucht man Sandsteine aus *Zittau* in der Lausitz. Uibrigens muss der Läufer immer stärker oder höher als der Bodenstein seyn und eine bestimmte Schwere haben, um das Getreide gehörig zermalmen zu können; wäre nämlich der Läufer zu leicht, so würde ihn das harte Getreide bei der Umdrehung heben und dasselbe sonach nicht zerrieben werden. Aus dieser Ursache pflegen die Läufer in Böhmen bei dem Anfange ihres Gebrauches beinahe 1½ Elle hoch und eben so dick zu seyn; durch die Schärfungen werden sie nun immer niedriger, bis sie zuletzt die Höhe von 14 bis 15 Zoll erhalten, wo sie nicht mehr genug Gewicht haben. Da man nun die Läufer in dieser Eigenschaft nicht mehr brauchen kann, so verwendet man sie zu Bodensteinen, wo ihre weitere Abnützung ohne Nachtheil ist.

§. 283.

Das Getreide, welches gemahlen werden soll, wird in einen oberhalb den Mühlsteinen befindlichen viereckigten Kasten, den Rumpf V, geschüttet. Derselbe hat die Form, welche man am besten aus dem Durchschnitte Fig. 4 ersieht, und hängt in der Rumpfleiter, die aus vier Hölzern f, f, f′, f″ besteht, welche auf den zwei Schwellen g, g′ nach der Seite geschoben werden kann, wenn die Steine wegen der Schärfung abgehoben werden. Der Rumpf hat keinen daran befestigten, sondern einen beweglichen Boden W, welcher der Schuh genannt wird. Dieser Boden hängt hinten und vorne an Baststricken und kann vorne mittelst eines kleinen Haspels h nach Bedarf höher oder niedriger gestellt werden, wenn mehr oder weniger Getreide in den Stein fallen soll. Damit aber der Ausfluss des Getreides aus der im Schuhe angebrachten Oeffnung in das Läuferauge gleichförmig erfolge, ist an dem Schuhe ein Daum b′ angebracht, welcher etwa einen Zoll tief in das Läuferauge reicht. An dem obern Ende dieses Auges ist ein eiserner Ring p in den Stein fest eingelassen, welcher wie Fig. 16 zeigt, mit einem Zahne oder einer kleinen schiefen Fläche versehen ist. Da der Schuh durch sein Gewicht senkrecht herabhängt, so wird der Daum b′ so gestellt, dass er beständig an den Umfang dieses eisernen Ringes andrückt. Wird nun der Läufer gedreht, so schiebt sich der Daum über die schiefe Fläche des Ringes Fig. 16 hinauf und fällt bei jedem Umlaufe einmal über die Höhe dieser schiefen Fläche zurück. Diess verursacht nun eine beständige Bewegung des Schuhes, wodurch jede Verstopfung des Getreides bei seiner Ausströmung aus dem Rumpfe verhindert wird. Zur sichern Bewegung des

Tab. Schuhes ist es zweckmässig, den Daum von einer hölzernen Feder auf gleiche Art an-
57, ziehen zu lassen, wie es bei dem sogenannten Rührer geschieht.
58 Damit nämlich das eingeschüttete Getreide sich in dem Steine nicht verstopfe, wird
und
59. ein Rührer oder Steinruthe g'' mittelst eines Nagels beweglich an den Kloben h' befestigt und mittelst eines hölzernen Bügels ii' beständig angezogen. Diese Steinruthe legt sich ebenfalls an dem Umfange des eisernen Ringes Fig. 16 an und wird daher durch den daselbst angebrachten Zahn gleichfalls hin und her bewegt.

§. 284.

Das aus dem Schuhe herabkommende Getreide fällt auf beiden Seiten der Haue auf die Oberfläche des Bodensteines, vertheilt sich zwischen beiden Steinen, wird durch die sich kreuzenden Schärfungslinien zerrissen und gelangt so an den äussern Umfang dieser Steine. Damit das gemahlene Getreide nicht auf allen Seiten entweiche, wird über die Steine ein aus Fassdauben zusammengesetzter und mit eisernen Reifen beschlagener Lauft I gestürzt, welcher bloss auf einer Seite mit dem Mehlloche k' (Fig. 4) versehen ist. Das gemahlene Getreide fällt durch dieses Loch in den Beutelsack X, in welchem die Siebung desselben innerhalb des Beutelkastens Y vorgenommen wird. Zu diesem Behufe wird der Beutel in seiner Mitte mit einem ledernen Ring umgeben, welcher zu beiden Seiten von einer hölzernen Gabel m, die man am deutlichsten im Grundrisse Tab. 57 sieht, gefasst wird. Diese Gabel steckt in der Welle o, welche an beiden Enden mit Zapfen versehen ist, die in Lagern laufen. An dieser Welle ist ein hölzerner Arm oder Anschlag n auf der dem Beutelsack entgegengesetzten Seite angesteckt, welcher an drei unter dem Getriebe an der Mühlspindel hervorstehende Daumen q (Fig. 4) anschlägt. Wie nämlich die Mühlspindel im Kreise herumgeht, wird der Arm n, hierdurch die Gabel m und der Beutelsack X verrückt, worauf dieser Arm n durch die Spannung des Beutelsacks wieder in die vorige Lage zurückkehrt, sogleich an den nächsten Daumen q des Getriebes anschlägt und auf diese Art ein beständiges Schütteln des Beutelsacks bewirkt. Durch dieses beständige Anschlagen des Armes n an die hervorstehenden drei Daumen des Getriebes wird das hörbare Geräusche in unsern Mühlen bewirkt. Zur Sicherung der Bewegung des Beutelsacks ist es ebenfalls nothwendig in der Welle o, wie der Grundriss Tab. 57 zeigt, eine hölzerne Feder r anzustecken, welche durch den Haspel s mehr oder minder angezogen werden kann. Durch diese Feder wird die Welle stets in ihre ursprüngliche, durch den Anstoss des Armes n an die Daumen q verrückte, Lage zurückgebracht.

Der Beutel wird vorn durch die hölzerne Feder t, welche wie der Durchschnitt Fig. 4 zeigt, an den Mehlkasten bei u mit Keilen befestigt ist, gehörig angespannt. Durch die Schüttelung des Beutels wird das Mehl in den Mehlkasten ausgestaubt und die gröbern Theile, welche noch nicht zerrieben sind, fallen sammt der Kleie in den Schrotkasten Z. Der Mehlkasten Y ist von allen Seiten mit dünnen Bretern verschalt und auf einer Seite oben mit einem grössern und am Boden mit einem kleinern Schuber x versehen. Der erstere dient, damit der Müller in den Kasten hineingreifen, etwas Mehl mit der Hand herausnehmen, die Qualität des Mehles untersuchen und hiernach den Mühlstein stellen könne. Der zweite Schuber wird eröffnet, wenn das fertige Mehl aus dem Mehlkasten herausgenommen und in einen vorgehaltenen Sack eingefüllt wird. In manchen

Mühlen pflegt man auch an einer oder an beiden Seiten bloss die obere Hälfte des Mehlkastens mit Leinwand zu verhängen.

Endlich befindet sich noch in jenen Mühlen, wo bloss ein Gang vorhanden ist und der Müller nicht beständig in der Werkstube zugegen ist, eine Warnung, d. h. eine Glocke, welche läutet, wenn kein Getreide im Rumpfe mehr vorhanden ist. Die Vorrichtung hierzu kann auf verschiedene Art gemacht werden, z. B. durch den Beutelsack, welcher während dem Beuteln wegen dem Gewichte des darin befindlichen Mehles immer schlapp ist und etwas herabhängt. Sobald nun kein Mehl mehr darin ist, so spannt sich der Beutelsack an und stösst an einen Arm, der mit einem Glockenzuge in Verbindung steht. Man kann auch auf das Getreide in dem Rumpfe eine hölzerne Tafel legen, welche mit demselben herabgeht und wenn sie auf die bestimmte Tiefe kommt, mit einem Hebel in Bewegung kommt, der eine Glocke anzieht.

§. 285.

Der Läufer muss, so wie er durch die fortwährende Abnützung niedriger wird, auch immer mehr und mehr gesenkt werden, demnach muss der Steg, auf welchem die Mühlspindel in ihrer Pfanne ruht, verhältnissmässig mehr und mehr herabgelassen werden. Da nun das Getriebe an der Mühlspindel fest ist und das Kammrad, welches in das Getriebe eingreift, ebenfalls feststeht, so folgt, dass bei dem Herabgehen der Mühlspindel auch das Getriebe herabgehe und dass sonach der Eingriff in das Kammrad auch nach und nach an einem höhern Punkte des Getriebes Statt finden werde. Würden statt des Getriebes und des Kammrades konische Räder vorhanden seyn, bei welchen die Abnützung weit geringer ist, so würde auch der Eingriff bei der allmähligen Senkung des Läufers ganz verlohren gehen. Diess ist zugleich die Ursache, warum bei unsern Mühlen noch immer Getriebe und Kammräder gebraucht werden, obgleich die Vortheile der konischen Räder hinsichtlich ihres richtigen Eingriffs und ihrer Dauer nicht unbekannt sind.

§. 286.

In den meisten Staaten bestehen gesetzliche Bestimmungen hinsichtlich des Mahllohnes. Da das Mehl und das Schrot (die Kleien) mit Zuschlag eines unbedeutenden Quantums, was verstaubt, eben so viel wiegen muss, als das Getreide, und da man ferner aus Erfahrung weiss, wie viel Mehl dem Gewichte nach *) aus einem Zentner Getreide

*) In dem Aufsatze: „Uiber Mehlausfuhr und Verbesserung des Mahlwesens von Herrn *Beuth* in den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses in Preussen, 2te Lieferung vom Jahre 1825 wird gesagt: In England und Amerika ist man im Stande einen Scheffel Weizen bis auf eine Kleinigkeit in Mehl bester Qualität, wie es zur Ausfuhr erforderlich ist, zu verwandeln; eben dieses ist auf der, nach englischer Art eingerichteten Mühle des Herrn *Corty* in *Guben*, Regierungsbezirk *Frankfurt*, der Fall, wo nach dessen aktenmässiger Aussage von einem Zentner Weizen nur eine ganz unbedeutende Quantität ganz unbrauchbaren Mehls zurückbleibt, die kaum ein Pfund beträgt. Dagegen liefern z. B. in Neu-Vorpommern 110 Pfund feinen gelben Weizens, und ein gleiches Quantum in *Danzig* folgende Fabrikate:

In *Wolgast*:		In *Danzig*:	
Feines Mehl	$64\frac{33}{100}$	$64\frac{8}{48}$	Mehl 1ter Sorte
Mittel „	$14\frac{36}{100}$	$10\frac{15}{48}$	„ 2ter „
Grobes „	$12\frac{62}{100}$	$8\frac{1}{48}$	„ 3ter „
— —	—	$11\frac{47}{48}$	„ 4ter „
Kleie	$15\frac{54}{100}$	$11\frac{22}{48}$	Kleie
Staubmehl	$3\frac{15}{100}$	$4\frac{3}{48}$	Abgang.
	110 Pfund	110 Pfund	

erhalten wird, so erhellet, dass allerdings eine Kontrolle für das Mahlen Statt finden könne, allein diese Kontrolle kann nie sehr genau seyn, weil das Getreide aus verschiedenen Gegenden von ungleicher Beschaffenheit ist und überhaupt selbst in einem Jahre die Körner voller, in einem andern Jahre aber leerer sind, demnach auch das Mehlquantum abweicht. Aus dieser Ursache ist in den österreichischen Staaten durch die von der Kaiserin *Maria Theresia* erlassene Mühlenordnung bestimmt worden, dass jedem Müller der sechzehnte Theil des Getreides als Belohnung für das Erzeugen gewöhnlichen Brodmehles gebührt, im Falle er das Getreide zu Mehl vermahlt; bei den Schroten des Malzes, oder wenn nicht so oft aufgeschüttet wird, als das Mehl erfordert, wird eine verhältnissmässig geringere Entschädigung und bei feinern Mehl für die Hauptstädte eine besondere Vergütung von den Partheien geleistet. Dagegen gebühren diesen Partheien nebst dem erzeugten Mehle auch die abgefallenen Hülsen oder Kleien.

Wir schliessen diese Beschreibung mit der Bemerkung, dass das weitere Detail über die Operazionen des Mahlens nicht in unser Gebieth gehöre und in den über Mühlenbau und Mehlbereitung bekannt gemachten Werken nachgelesen werden könne. Hier verdient vorzüglich ausser den Seite 361 schon genannten Werken noch erwähnt zu werden: Der Wasser-Mahl-Mühlenbau von *Karl Neumann*, mit einer Vorrede von *J. A. Eytelwein*, I. Band in 3 Heften, Berlin 1810 und 1818. Anweisung zum praktischen Mühlenbau für Müller und Zimmerleute ausgearbeitet von *Heinrich Ernst*, Leipzig 1802. *Melzers* Mühlenbaukunst. *Beiers* Mühlenschauplatz.

§. 287.

Da die Theorie des Wasserstosses in Schussgerinnen von der grössten Wichtigkeit ist, indem die Anlage der unterschlächtigen Wasserwerke, deren Anzahl in jedem Lande sehr bedeutend ist, hierauf beruht, so dürfte es unsern Lesern willkommen seyn, eine Bestättigung der in diesem Kapitel vorgetragenen wichtigsten Lehren durch hierüber angestellte Versuche zu erhalten. Wir werden demnach die Versuche einiger Schriftsteller über diesen Gegenstand anführen, selbe der Theorie entgegenhalten und die Richtigkeit der letztern durch eine bei diesem schwierigen Gegenstande sehr merkwürdige Uibereinstimmung erweisen.

Bevor wir zur Anführung dieser Versuche schreiten, müssen wir in Erinnerung bringen, dass Seite 351 gezeigt wurde, dass die Anzahl n der zu gleicher Zeit im Wasser gehenden Schaufeln eines unterschlächtigen Rades immer grösser als der Quozient $\frac{c}{c-v}$ seyn müsse, weil für den Fall als $n = \frac{c}{c-v}$ die zum Stoss kommende Wassermenge nur $\frac{2}{3}$ a.b.c oder zwei Drittheile der in das Gerinne einströmenden Wassermenge beträgt. Weil aber bei den Versuchen mehrerer Schriftsteller zur Bestimmung der vortheilhaftesten Anzahl Schaufeln, n auch kleiner als $\frac{c}{c-v}$ genommen wurde, so wollen wir vorerst diesen Fall noch besonders betrachten und zu diesem Behufe die §. 261 gegebene Theorie in kurzem wiederholen und für unsern Fall anwenden.

Bezeichnet L l, M m, A a, O o.... die Schaufeln eines Wasserrades und AH die Höhe des Wasserstandes im Gerinne, dann v die Geschwindigkeit am Umfange des

Rades und c jene des Wassers, so ist offenbar, dass sobald die Schaufel in E die Oberfläche des Wassers berührt, auch das in der Linie D E befindliche Wasser zuerst bei E an die Schaufel zu stossen anfängt; in der Stellung M m kommt der erste Punkt der Wasserlinie M F zum Stosse und so wird die Zahl der anstossenden Wasserlinien immer grösser, bis endlich in der Stellung A a das Wasser in seiner ganzen Höhe an die Radschaufeln anstösst. So wie die Schaufel aus einer Stellung z. B. M m tiefer in das Wasser eindringt, geht der Punkt M des Rades nach der Richtung M O mit der Geschwindigkeit v fort. Weil aber das Wasser in eben dieser Richtung mit seiner grössern Geschwindigkeit c nachzufliessen strebt, so geschieht es, dass die nachfolgenden Wasserpunkte x, y.... die Radschaufel einholen und gleichfalls zum Stosse gelangen, bis endlich die folgende Schaufel L l in die Stellung M m eintritt, den Wasserfaden M F abschneidet und hierdurch die Gränze für die Wassermenge bestimmt, welche zwischen jeden zwei Schaufeln M m und L l eingefangen wird, und welche nur allein an die Schaufel M m stossen kann. Fig. 12. Tab. 56.

Die Zeit, in welcher L nach M geht, ist $= \frac{LM}{v}$ und eben so ist die Zeit, in welcher das Wasser den Raum F M beschreibt $= \frac{FM}{c}$. Weil aber diese Zeiten einander gleich sind, so haben wir $\frac{LM}{v} = \frac{FM}{c}$ oder $FM = LM \cdot \frac{c}{v}$, und eben so gross sind auch die Linien D E und B A. Das Wasser, welches zwischen jeden zwei Schaufeln eingeschlossen wird, ist also in dem Raume $b.EABD = b.FM.AH = b.LM \cdot \frac{c}{v} \cdot AH$ enthalten. Weil aber die Wassermenge W im Schussgerinne den Raum b.c.AH einnimmt, so können wir den Werth $W = b.c.AH$ substituiren und so erhalten wir die Wassermenge, welche zwischen jeden zwei Schaufeln eingeschlossen wird $= \frac{LM}{v} \cdot W$.

Man sieht nun sogleich, dass nicht alles Wasser, welches in dem Raume E A B D eingeschlossen wird, an die Schaufel M m stossen könne. Denn dazu, dass der Punkt F zum Stosse gelange, wird erfordert, dass derselbe die Schaufel M m noch erreiche, ehe sie bei O aus dem Wasser wieder in die Höhe steigt. Weil aber jede Schaufel um den niedrigsten Punkt A nur einen Augenblick verweilet und sogleich wieder in die Höhe geht, so ist offenbar, dass auch von dem Wasser bei B A nur ein sehr kleiner Theil zum Stosse gelangen könne. Es sey z derjenige Punkt des Wassers, welcher den Raum z O mit der Geschwindigkeit c in eben der Zeit zurücklegt, in welcher die Sehne M O von der Schaufel M m mit der Geschwindigkeit v beschrieben wird, so ist $\frac{MO}{v} = \frac{zO}{c} = \frac{zM + MO}{c}$, daher $zM = MO\left(\frac{c - v}{v}\right)$. Auf gleiche Art ist auch $dE = Ee\left(\frac{c - v}{v}\right)$ und alle Punkte der krummen Linie A z d werden auf die nämliche Art bestimmt. Hieraus folgt, dass die Wassermenge, welche an die Schaufel M m während ihrer Bewegung durch den Bogen E A e zum Stosse gelangt, im Raume d A E enthalten sey. Weil nun in der Fläche d A E jede Ordinate z M zur zugehörigen Sehne M O des Kreises in dem gemeinschaftlichen Verhältnisse $c - v : v$ steht,

Fig. 12. Tab. 56. so verhält sich auch der Flächenraum dAE zum Kreisabschnitte EAe wie c—v:v. Der Kreisbogen EAe ist aber in Rücksicht der ganzen Peripherie des Rades sehr klein und von einem parabolischen Bogen so wenig unterschieden, dass wir ohne Fehler die Fläche EAe = ⅔ Ee . AH setzen können; daher ist auch die Fläche dAE = ⅔ dE . AH.

Es kommt nunmehr darauf an, ob dE, welches $= Ee\left(\frac{c-v}{v}\right)$ ist, grösser oder kleiner als DE, was $= LM \cdot \frac{c}{v}$ ist, oder ob $\frac{Ee}{LM}$ grösser oder kleiner als $\frac{c}{c-v}$ ist. Da aber die Anzahl der im Wasser zu gleicher Zeit gehenden Schaufeln $n = \frac{Ee}{LM}$, so fragt es sich, ob die Anzahl n der im Wasser gehenden Schaufeln kleiner oder grösser als $\frac{c}{c-v}$ ist.

I. Im **ersten Fall**, wo n kleiner als $\frac{c}{c-v}$ ist, verhält sich das Wasser, welches zwischen den Schaufeln Ll und Mm eingeschlossen wird, zum Wasser, welches an die Schaufel Mm zum Stosse gelangt, wie EABD : EAd = DE : ⅔ dE = LM . c : ⅔ Ee (c—v). Weil aber das nämliche Verhältniss bei jeder folgenden Schaufel immerfort wiederholt wird, so steht auch die Wassermenge W, welche in jeder Sekunde in das Schussgerinne fliesst, zur Wassermenge, welche in jeder Sekunde zum Stosse gelangt, in dem nämlichen Verhältnisse. Hieraus folgt die zum Stoss wirklich kommende Wassermenge $= \frac{2}{3} W \cdot \frac{Ee}{LM}\left(\frac{c-v}{c}\right)$. Wird dieser Werth in die Seite 348 gefundene allgemeine Gleichung für den Wasserstoss $= 56{,}4\, f \cdot \frac{c}{2g}(c-v) = 56{,}4\, M\left(\frac{c-v}{2g}\right)$ statt M gesetzt, so erhalten wir für diesen ersten Fall den Wasserstoss $K = 56{,}4 \cdot \frac{2}{3} W \cdot \frac{Ee}{LM} \cdot \frac{(c-v)^2}{2g \cdot c}$.

II. In einem **zweiten Falle** ist die Anzahl n der im Wasser gehenden Schaufeln grösser als $\frac{c}{c-v}$. Für diesen Fall ist nach Seite 351 die zum Stosse gelangende Wassermenge $= W\left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 \cdot n^2}\right)$ und daher der Wasserstoss in diesem zweiten Falle $K = 56{,}4\, W\left(1 - \frac{c^2}{3(c-v)^2 \cdot n^2}\right)\left(\frac{c-v}{2g}\right)$.

III. In einem **dritten Falle**, wo $\frac{Ee}{LM} = n = \frac{c}{c-v}$ ist, beträgt nach Seite 351 die in einer Sekunde anstossende Wassermenge nur ⅔ a . b . c und demnach der Stoss $K = 56{,}4 \cdot \frac{2}{3} W\left(\frac{c-v}{2g}\right)$; es fliesst demnach der dritte Theil des Wassers zwischen den Radschaufeln durch, ohne anzustossen. Dagegen geht im ersten Falle mehr als der dritte Theil, im zweiten Falle aber weniger als der dritte Theil des vorhandenen Wassers verloren; der zweite Fall ist daher vortheilhafter als der erste, und findet, wie wir bereits erinnerten, gewöhnlich bei den Wasserrädern Statt. Hieraus erklärt sich auch, warum der Wasserstoss mit der Anzahl der Schaufeln gewöhnlich zunehme.

§. 288.

Herr *Abbé Bossut* hat viele **Versuche** in der Absicht angestellt, um die **vortheilhafteste Anzahl der Schaufeln** für unterschlächtige Wasserräder ausfindig

zu machen. Zu diesem Ende liess derselbe ein kleines Wasserrad verfertigen, woran 48 Schaufeln angebracht waren, die aber bei den Versuchen auf 24 und bis auf 12 verringert wurden. Diese Schaufeln waren sämmtlich gegen den Mittelpunkt des Rades gerichtet. Das Rad wurde in ein künstlich hergestelltes Gerinne so gestellt, dass der Rand der Schaufeln etwa noch eine halbe Linie vom Boden und den Wänden dieses Gerinnes abstand. An die Welle des Rades wurde eine Schnur befestigt, das andere Ende derselben über eine in der Höhe befestigte Rolle gezogen und daran ein Gewicht gebunden, welches das Wasser, indem es an die Schaufeln des Rades anstösst und das Rad sammt der Welle in Umlauf bringt, in die Höhe ziehen musste.

Das Wasserrad hatte 3 Fuss 1 Zoll 10 Linien im äussern Durchmesser. *Bossut* veränderte bei den Versuchen nicht bloss die Anzahl der Schaufeln, sondern auch die angehängten Gewichte und zählte die Umdrehungen, welche das Rad bei jedem Versuche in einer bestimmten Zeitfrist machte. Im §. 1002 seiner Hydrodynamik findet sich hierüber folgende Tabelle:

Anzahl der Schaufeln des Rades.	Aufgezogene Gewichte. *Livres.*	Dauer der Beobachtung in Sekunden.	Anzahl der Umgänge des Rades.
48	12	48	34
48	16	48	31 $\frac{1}{4}$
24	12	48	30 $\frac{1}{3}$
24	16	48	28 $\frac{1}{2}$
12	12	48	25
12	16	48	23

Die Geschwindigkeit des Wassers wurde mittelst sehr leichter auf dem Wasser schwimmender Körper gemessen, welche 300 Fuss in 30 Sekunden zurücklegten; diese konnten aber offenbar nur die Geschwindigkeit des Wassers auf der Oberfläche angeben. Um die Reibung oder den Widerstand des Wassers am Boden und an den Wänden des Kanales zu überwältigen und eine gleichförmige Bewegung auf der Oberfläche herzustellen, musste dem Kanal $\frac{1}{10}$ Gefälle oder beiläufig 6 Grad Neigung unter dem Horizont gegeben werden. Aus der nämlichen Ursache folgt ebenfalls, dass unter der Oberfläche gegen den Boden des Kanales eine geringere Geschwindigkeit Statt gefunden habe. Um also der Wahrheit näher zu kommen, wollen wir die mittlere Geschwindigkeit des Wassers um $\frac{1}{10}$ geringer oder $c = 9$ Fuss nehmen.

Bossut hat die Wassermenge, die in jeder Sekunde in den Kanal floss, nicht angegeben, versichert aber (§. 722) dass er die Wassermenge, die in einer gegebenen Zeitfrist durch den Kanal floss, am Ende des Kanales aufgefangen und eben so viel Was-

ser erhalten habe, als die Oeffnung des Behälters für sich allein, ohne den angebrachten Kanal, in der nämlichen Zeit gegeben hätte. Die beständige Wasserhöhe im Behältniss ober dem Boden des Kanales war 2 Fuss; die Oeffnung, durch welche das Wasser in den Kanal eingelassen wurde, war 5 Zoll breit und 1 Zoll hoch. Wenn wir aus diesen Abmessungen (gemäss §. 373 und 716 von *Bossut*) die Ausflussmenge aus dem Behältnisse berechnen, so folgt, dass in jeder Sekunde 408 Kub. Zolle Wasser in den Kanal geflossen sind.

Die Tiefe des Wassers im Kanal an dem Orte, wo das Rad angebracht war, betrug nach der Beobachtung von *Bossut* 13 bis 14 Linien, daher war die Querschnittsfläche des fliessenden Wassers $5 \cdot 13{,}5 \cdot {}^1/_{12} = 5^5/_8$ Quad. Zolle. Wird nun die Wassermenge (408 Kub. Zolle) mit dieser Querschnittsfläche dividirt, so erhalten wir die Geschwindigkeit des Wassers nur $= 72^1/_2$ Zoll oder 6 Fuss $^1/_2$ Zoll, welche beträchtlich kleiner ist als die oben gefundenen 9 Fuss; woraus zu ersehen, dass *Bossut* die Wasserhöhe nicht vorher, als das Wasser ungehindert mit der Geschwindigkeit c durch den Kanal floss, sondern zur Zeit, da das Rad in Arbeit war, gemessen habe. Das Produkt aus der Breite des Kanales (5 Zoll) in die mittlere Geschwindigkeit des Wassers (9 Fuss = 108 Zoll) ist 540 Quadratzoll. Wenn wir mit diesem Produkte die Wassermenge (408 Kub. Zoll) dividiren, so
Fig. 12. Tab. 56. ergibt sich die Höhe des Wassers im Kanal (Fig. 12) $A H = {}^3/_4$ Zoll beinahe. Hieraus erhalten wir die Sehne $E e = 2\sqrt{A H . (H C + A C)} = 10^1/_2$ Zoll. Die Peripherie des Rades ist nahe = 10 Fuss oder = 120 Zoll. Setzen wir die Anzahl der Radschaufeln in der ganzen Peripherie = N, so ist die Entfernung der Schaufeln $L M = \frac{120}{N}$; daher $\frac{E e}{L M} = \frac{10^1/_2\, N}{120} = \frac{7}{80} N$. Nennen wir endlich die beobachtete Anzahl der Umdrehungen des Rades U, so ist die Geschwindigkeit der Radschaufeln $v = \frac{120}{48} U = \frac{10}{4} U$; folglich $\frac{c}{c - v} = \frac{108}{108 - \frac{10\, U}{4}} = \frac{43{,}2}{43{,}2 - U}$.

Bei dem ersten Versuche war die Anzahl der Schaufeln $N = 48$; daher $\frac{E e}{L M} = \frac{7\, N}{80} = 4{,}2$. Die Anzahl der beobachteten Umdrehungen war $U = 34$; daher $\frac{c}{c - v} = \frac{43{,}2}{43{,}2 - 34} = 4{,}7$. Folglich ist $\frac{E e}{L M}$ kleiner als $\frac{c}{c - v}$, und mit dieser Erfahrung muss die Formel für den ersten Fall (Seite 384) übereinstimmen. Wenn wir auf die nämliche Art die übrigen Versuche durchgehen, so findet sich, dass mit Ausnahme des zweiten Versuches, welcher zum zweiten Fall gehört, auch alle übrigen Versuche zum ersten Fall gehören, und dass der beobachtete Wasserstoss mit der Formel

$$K = 56{,}4 \cdot {}^2/_3\, W \cdot \frac{E e}{L M} \cdot \frac{(c - v)^2}{2 g \cdot c} = 56{,}4 \cdot {}^2/_3\, W \cdot {}^7/_{80}\, N \cdot \left(\frac{43{,}2 - U}{43{,}2}\right)^2 \cdot \frac{9}{2 \cdot 15{,}098} = \frac{56{,}4\, W \cdot N \cdot (43{,}2 - U)^2}{107339}$$

übereinstimmen müsse.

Um weitläufigere Rechnungen zu vermeiden, wollen wir bloss die **Verhältnisse** betrachten. Es folgt nämlich aus der letzten Formel, **1tens**: dass bei gleicher Wassermenge W und gleicher Anzahl der Schaufeln N, der Wasserstoss K, oder die gehobenen Gewichte sich wie $(43{,}2 - U)^2$ verhalten müssen. Vergleichen wir demnach den dritten und vierten Versuch mit einander, so ist $(43{,}2 - 30^1/_2)^2 : (43{,}2 - 28^1/_2)^2 = 12 : 15{,}7$.

Eben so gibt der fünfte und sechste Versuch $(43{,}2 - 25)^2 : (43{,}2 - 23)^2 = 12 : 14{,}8$. Der wirkliche Stoss oder die angehängten Gewichte verhielten sich aber in beiden Fällen wie 12 : 16. Der kleine Unterschied kann ohne Anstand der Stauung, der Reibung und dem Widerstande der Luft zugeschrieben werden.

2tens: Wenn der Stoss K, oder die gehobenen Gewichte die nämlichen bleiben, so steht die Anzahl der Schaufeln N mit $(43{,}2 - U)^2$ im umgekehrten Verhältniss. Vergleichen wir dem gemäss den ersten, dritten und fünften Versuch, und eben so den vierten und sechsten Versuch mit einander, so ergibt sich

$$\left(\frac{1}{43{,}2-34}\right)^2 : \left(\frac{1}{43{,}2-30^1/_3}\right)^2 : \left(\frac{1}{43{,}2-25}\right)^2 = 47 : 24 : 12 \text{ und } \left(\frac{1}{43{,}2-28^1/_2}\right)^2 : \left(\frac{1}{43{,}2-23}\right)^2 = 24 : 12{,}7.$$

Diese Uibereinstimmung wird hinreichen, um unsere Formel für den ersten Fall des Wasserstosses (Seite 384) einigermassen zu bestättigen. Der zweite Fall (Seite 384) wird am Ende dieser Abhandlung durch weit genauere Versuche und Rechnungen seine Bestättigung erhalten, indem an der genauen Kenntniss desselben weit mehr gelegen ist, als am erstern.

§. 289.

Bevor wir zur Berechnung der nachfolgenden vorzüglich über den zweiten Fall von *Smeaton* angestellten Versuche übergehen, wollen wir die Grösse und Wirkung des Staues in Mühlgerinnen bei einem unterschlächtigen Wasserrade, wovon wir bereits Seite 348 und 355 gehandelt haben, nochmal untersuchen und hierbei auf alle Umstände Rücksicht nehmen, um unsere Ausdrücke, welche dadurch etwas zusammengesetzter werden, mit den Ergebnissen der Versuche genau vergleichen zu können.

Wir haben bereits bemerkt, dass die Verminderung der Geschwindigkeit des Wassers durch den Stoss an die Radschaufeln die Ursache sey, dass das Wasser unter dem Rade anschwillt und die Höhe desselben im Schussgerinne nach dem Stosse grösser als vor demselben ist. Wenn das Schussgerinne nicht so viel Gefälle besitzt, als das Wasser nöthig hat, um mit der übrig gebliebenen Geschwindigkeit gleichförmig abzufliessen, so wird die Bewegung desselben von dem Boden und den Wänden des Schussgerinnes verzögert und das Wasser schwillt noch mehr an. Zur Untersuchung dieses Gegenstandes setzen wir die Höhe, welche das Wasser im Schussgerinne vor dem Stosse einnimmt $= a$, die Höhe desselben nach verrichtetem Stosse $= x$ und die Breite des Gerinnes oder die Länge der Schaufeln $= B$. Jede Radschaufel ist offenbar eine Wand, welche mit dem Wasser gleichförmig fortgeht, an welcher aber das Wasser von der einen Seite die Höhe a, von der andern die Höhe x einnimmt; und welche desswegen von der ersten Seite den hydrostatischen Druck $\frac{56{,}4\,B\,.\,a^2}{2}$, von der andern entgegengesetzten Seite aber den Druck $\frac{56{,}4\,B\,.\,x^2}{2}$ erfährt. Der Unterschied $\frac{56{,}4\,B}{2}(x^2 - a^2)$ wirkt dem Wasserstosse entgegen und muss von der Stosskraft, die das Wasser auf das unterschlächtige Rad ausübt, abgezogen werden. Fig. 3. Tab. 56.

Es kommt hierbei nicht darauf an, ob das Wasser erst hinter der Schaufel bei O o die grössere Höhe x erreicht, oder ob es schon vor der Schaufel bei N n auf dieselbe

Fig. 3. Tab. 56. oder auch auf eine grössere Höhe hinaufsteigt, weil nämlich der grössere hydrostatische Druck des Elementes nNSs dem Stosse des vorhergehenden Elementes mMNn die Kraft $\frac{56{,}4\,B}{2}(Nn^2 - Mm^2)$ entzieht. Eben so wird die Stosskraft des Elementes lLMm um $\frac{56{,}4\,B}{2}(Mm^2 - Ll^2)$ vermindert. Die Summe dieser zwei Verluste ist $= \frac{56{,}4\,B}{2}(Nn^2 - Ll^2)$. Auf gleiche Art ist die Summe aller Verluste, welche der gesammten Stosskraft aller Elemente zwischen Nn und Bb entgeht $= \frac{56{,}4\,B}{2}(Nn^2 - Bb^2) = \frac{56{,}4\,B}{2}(x^2 - a^2)$. Wenn Fig. 3 die Höhe Mm grösser ist als Oo, so wird die Stosskraft des Wassers zwischen Mm und Oo um $\frac{56{,}4\,B}{2}(Mm^2 - Oo^2)$ vermehrt, zwischen Mm und Aa aber um $\frac{56{,}4\,B}{2}(Mm^2 - Aa^2)$ vermindert, folglich ist der Verlust, den die Stosskraft des gesammten Wassers zwischen Oo und Aa erleidet $= \frac{56{,}4\,B}{2}(Mm^2 - Aa^2) - \frac{56{,}4\,B}{2}(Mm^2 - Oo^2) = \frac{56{,}4\,B}{2}(Oo^2 - Aa^2)$ $= \frac{56{,}4\,B}{2}(x^2 - a^2)$ wie zuvor.

Es bilden sich bei dem Stosse des Wassers an unterschlächtige Räder gewöhnlich sehr mannigfaltige Wellen. Aus dem jetzt angeführten erhellet, dass diese Wellen die fortdauernde mittlere Bewegung des Rades weder vermehren noch vermindern können. Jede Welle für sich allein kann zwar in dem Augenblicke, in welchem sie an das Rad anschlägt, den Wasserstoss sowohl durch ihre grössere Masse als Höhe vermehren; allein der Uiberfluss ihrer Masse entgeht der nachfolgenden Untiefe, und weil ihre Höhe sowohl vorwärts als rückwärts einen gleichen Druck ausübt, so entzieht sie der Stosskraft des nachfolgenden Wassers wieder so viel, als ihre Stosskraft durch den Nachdruck der grössern Höhe vermehrt worden ist.

§. 290.

Die bisherigen Betrachtungen sind allgemein, wenn nämlich unter x diejenige Höhe verstanden wird, mit welcher das Wasser hinter dem Rade wirklich abfliesst, sie mag übrigens von was immer für Ursachen herrühren. Wir kommen nunmehr zur nähern Betrachtung des besondern Falles, wenn das Wasser nur allein von der verminderten Geschwindigkeit, welche durch den Stoss an die Schaufeln veranlasst worden, gestaut wird. Vor dem Stosse ist die herbeifliessende Wassermenge W offenbar $= B \,.\, a \,.\, c$, daher die Höhe des Wassers $a = \frac{W}{B\,.\,c}$. Wenn wir die Wassermenge, welche **wirklich zum Stosse gelangt**, und ihre Geschwindigkeit c in v verändert, $\mu \,.\, W$ nennen, so ist diejenige Wassermenge, welche **leer**, d. h. ohne einen Stoss zu verrichten **durchgehet** und ihre Geschwindigkeit c beibehält, offenbar $= (1 - \mu)\, W$. Hieraus erhalten wir die Höhe des Wassers nach dem Stosse $x = \frac{\mu\,.\,W}{B \cdot v} + \frac{(1-\mu)\,W}{B\,.\,c} = \mu\,.\,a\left(\frac{c-v}{v}\right) + a$; folglich $x - a = \mu \cdot a\left(\frac{c-v}{v}\right)$. Setzen wir $1 - \mu = \lambda$, so ergibt sich $x = \frac{a\,.\,c - \lambda\,.\,a\,(c-v)}{v}$

folglich $x + a = a\left(\frac{c+v}{v}\right)\left(1-\lambda\left(\frac{c-v}{c+v}\right)\right)$. Weil aber die Grösse $\frac{\lambda(c-v)}{c+v}$ in Vergleichung mit der vorausstehenden Einheit für jeden Fall sehr klein ist, so können wir selbe ohne Nachtheil in der Ausübung weglassen, und $x+a=a\left(\frac{c+v}{v}\right)$ setzen. Mittelst dieser Bestimmung erhalten wir den Gegendruck dieser Stauung

$$\frac{56{,}4\,B}{2}(x^2-a^2)=\frac{56{,}4\,B\,.\,a^2\,.\,\mu}{2}\left(\frac{c^2-v^2}{c}\right)=56{,}4\,\mu\,.\,W\cdot\frac{a}{2c}\left(\frac{c^2-v^2}{v^2}\right).$$

Die Grösse μ haben wir bereits Seite 384 bestimmt, nämlich im ersten Falle bei einer geringen Anzahl Schaufeln ist $\mu=\frac{2Ee}{3LM}\left(\frac{c-v}{c}\right)$, und im zweiten Fall, wenn die Anzahl der Schaufeln grösser ist $\mu=1-\frac{1}{3}\left(\frac{LM}{Ee}\cdot\frac{c}{c-v}\right)^2$. Wenn wir daher nach Beschaffenheit der Umstände den ersten oder den zweiten Werth für μ voraussetzen, so haben wir den Wasserstoss allgemein $=56{,}4\,\mu\,.\,W\left(\frac{c-v}{2g}\right)$ und nach Abzug der Stauung

$$K=56{,}4\,\mu\,.\,W\left\{\frac{c-v}{2g}-\frac{a}{2c}\left(\frac{c^2-v^2}{v^2}\right)\right\}.$$

Bei der Untersuchung, wie die Kraft des Wassers am vortheilhaftesten zu benützen sey, müssen wir nothwendig voraussetzen, dass das Rad mit einer hinlänglichen Anzahl Schaufeln versehen worden, so dass μ beinahe $=1$ ist. Weil nun in diesem Falle die anstossende Wassermenge $\mu\,.\,W$ vorzüglich von der Anzahl der im Wasser gehenden Schaufeln abhängt, so können wir selbe für eine beständige Grösse ansehen. Mit dieser Voraussetzung wird das Bewegungsmoment des Rades

$K\,.\,v=56{,}4\,\mu\,.\,W\left\{\frac{c\,.\,v-v^2}{2g}-\frac{a}{2c}\left(\frac{c^2-v^2}{v}\right)\right\}$ nach der Lehre der höhern Analysis *) am grössten, wenn die Geschwindigkeit der Radschaufeln $v=\frac{c}{2}\left(1+\frac{5a}{4h}\right)$ genommen wird. Mit dieser Geschwindigkeit ist der Wasserstoss bei Vernachlässigung der kleinen Brüche $K=56{,}4\,\mu\,.\,W\left(\frac{c}{4g}-\frac{11a}{4c}\right)=\mu\,.\,56{,}4\,f\,.\,h\left(1-\frac{11a}{4h}\right)$ und das Bewegungsmoment des Rades $K\,.\,v=56{,}4\,\mu\,.\,W\cdot\frac{h}{2}\left(1-\frac{3a}{2h}\right)$ beinahe. Hieraus sehen wir **1tens**, warum bei hohen Fluthen die Wasserräder einen so beschwerlichen Gang in Schussgerinnen haben, und dass die Bewegung des Rades beinahe aufhören müsste, wenn die Höhe des Wassers a im Schussgerinne so gross würde als $\frac{2}{3}$ vom Gefälle h. **2tens**, dass man an grossen Flüssen, wo viel Wasser aber wenig Gefälle zu erhalten ist, lieber schmale als breite Schaufeln wählen, und die nöthige Stossfläche in der grössern Länge derselben ersetzen müsse, bis nämlich entweder die Grösse $\frac{3a}{2h}$ unbeträchtlich, oder doch wenigstens der Ausdruck

*) Die Differenzirung der obigen Gleichung gibt $\frac{c\,.\,dv-2v\,.\,dv}{2g}+\frac{a}{2c}\left(\frac{2v^2\,.\,dv+dv\,(c^2-v^2)}{v^2}\right)=0$ oder $v=\frac{c}{2}+g\cdot\frac{a}{2c}\left(\frac{c^2+v^2}{v^2}\right)$. Setzen wir in dem zweiten Theile dieses Ausdruckes, welcher offenbar nur die Korrekzion enthält, annäherungsweise $v=\frac{c}{2}$, so ist $v=\frac{c}{2}+\frac{g\,.\,a}{2c}\cdot5=\frac{c}{2}\left(1+\frac{5a}{4h}\right)$, wo h die Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{4g}$ bezeichnet.

$56{,}4\,\mu \cdot W \cdot \frac{h}{2}\left(1 - \frac{3a}{2h}\right)$ der hervorzubringenden Bewegung gleich wird. Weil aber im letztern Falle wegen $v = \frac{c}{2}\left(1 + \frac{5a}{4h}\right)$ die Geschwindigkeit des Rades grösser seyn muss, als die halbe Geschwindigkeit des Wassers, so muss die Einrichtung des Räderwerks diesem angemessen gemacht werden. Hiervon findet eine Anwendung bei den Schiffmühlen Statt.

Es ist bekannt, dass Pansterräder bei hohen Fluthen in die Höhe gehoben werden, wodurch die Höhe des anstossenden Wassers a vermindert, folglich ihre Bewegung gemäss unserer aufgestellten Formel vergrössert wird. Bei. Staberrädern hingegen wird die Anzahl der Schaufeln vermindert, welches ebenfalls unserer gegebenen Theorie gemäss ist. Wenn daher die innere Einrichtung einer Mühle bei grössern und kleinern Wasserhöhen im Schussgerinne die nämliche bleiben soll, wie dieses bei Staberrädern der Fall ist, so muss die Anzahl der Schaufeln an der Peripherie des Rades in eben dem Verhältnisse vermindert werden, als die Höhe des Wassers im Schussgerinne steigt. Man ersieht hieraus, wie die Richtigkeit unserer aufgestellten Theorie auch durch diese zwei Fälle bestättigt wird.

§. 291.

Hinsichtlich der Widerstände, welche das Wasser bei seiner Bewegung an den Wänden der Schussgerinne findet, haben wir bereits Seite 369 erinnert, dass sich nach den Versuchen von *Bossut* (§. 788 seiner Hydrodynamik) das Wasser in Schussgerinnen gleichförmig bewegt, wenn demselben auf jede 10 Fuss Länge 1 Fuss Gefälle gegeben wird; wir haben jedoch bemerkt, dass dieses Resultat keineswegs als unbedingt anzunehmen sey.

Der Widerstand, welchen die Luft der Bewegung eines Wasserrades entgegengesetzt, wird gewöhnlich dem Gewichte einer Luftsäule gleichgehalten, welche die Summe aller Schaufelflächen zur Grundfläche und die Fallhöhe, welche ihrer Geschwindigkeit zugehört $\left(\frac{v^2}{4g}\right)$ zur Höhe hat. Setzen wir nämlich das Gewicht eines Kubikfusses Luft $= \alpha$, die Anzahl der Schaufeln, die sich in der Luft bewegen, $= N$, die Fläche einer jeden Schaufel $= f$, so ist dieser Widerstand $= \alpha \,.\, N \,.\, f \cdot \frac{v^2}{4g}$. Weil jedoch die Luft in der Nähe des Rades selbst eine Wirbelbewegung nach der Richtung der Schaufeln annimmt, so ist dieser Widerstand in der Ausübung kleiner, als ihn diese Formel angibt.

Wie endlich die Reibung in den festen Theilen der Maschinen berechnet werde, haben wir bereits in dem ersten Bande dieses Werkes kennen gelernt. Auf diese Art können wir nun bei sehr genauen Rechnungen über die Kraft des Wasserstosses auf alle hierbei vorkommende Umstände Rücksicht nehmen.

§. 292.

Im 51ten Bande der *Philosophical Transactions* vom Jahre 1751 führt Herr *Smeaton* die Resultate von sehr vielen hierher gehörigen Versuchen an, die er in der Absicht angestellt hat, um die vortheilhafteste Geschwindigkeit der unter-

schlächtigen Wasserräder und ihre Wirkung ausfindig zu machen. Seine Maschine zur Prüfung des Wasserstosses war im Wesentlichen so eingerichtet, wie wir bereits Seite 385 angeführt haben, nur mit dem Unterschiede, dass die Gewichte nicht unmittelbar an das andere Ende der Schnur angebunden, sondern daselbst in eine Wagschale gelegt wurden, die an einer beweglichen Rolle hing, um welche das andere Ende der Schnur gezogen und oben neben der festen Rolle befestigt wurde. Sein sinnreiches Verfahren, die Geschwindigkeit des Wassers vor dem Stosse, die herbeifliessende Wassermenge, und den Widerstand der Luft sammt der Reibung zu bestimmen, verdient am angeführten Orte selbst nachgelesen zu werden. Um die Art, wie er bei diesen Versuchen zu Werke ging, zu erklären, wird eine Reihe derselben ausführlich und mit folgenden Umständen angeführt:

Nro. der Versuche.	Gewichte in der Wagschale.	Umdrehungen des Rades in 1 Minute.	Produkte der Gewichte in die Umdrehungen.
1	4 Pfund	45	180
2	5 „	42	210
3	6 „	36¼	217½
4	7 „	33¾	236¼
5	8 „	30	240
6	9 „	26½	238½
7	10 „	22	220
8	11 „	16½	181½
9	12 „	das Rad hörte auf sich zu bewegen.	

Die Wagschale sammt der beweglichen Rolle wog 10 Unzen *avoir du poids* Gewicht; weil der Wasserstoss nebst den Gewichten in der Schale auch noch diese 10 Unzen heben musste, so müssen selbe zu allen in der zweiten Reihe angeführten Gewichten hinzugegeben werden. Da aber diese Gewichte zusammen an einer beweglichen Rolle hingen, so kommt von denselben nur die Hälfte auf Rechnung des Wasserstosses. Diese wird in der zweiten Reihe der folgenden Tabelle angeführt.

Um die Geschwindigkeit des Wassers zu erhalten, legte Herr *Smeaton* 1 Pfund 8 Unzen in die Schale, und liess durch selbe, indem die Schnur statt oben, nunmehr von unten um die Welle gewickelt war, das Rad nach der nämlichen Richtung, in welcher dasselbe vom Wasser gedrehet wurde, jedoch zuerst allein, und ohne Beihülfe des Wassers in Bewegung setzen, wobei es nach angenommener gleichförmiger Bewegung in einer Minute 85 Umläufe machte. Bei dieser Bewegung des Rades war offenbar der Widerstand der Reibung und der Luft unwirksam. Sodann aber wurde zugleich das Wasser herbeigelassen, worauf das Rad 86 Umdrehungen zurücklegte, oder sich beinahe mit der vorigen Geschwindigkeit bewegte. Hieraus folgt, dass, wenn Widerstand der Luft und Reibung die Bewegung des Rades nicht hinderten, und die Schaufeln mit dem

Wasser gemeinschaftlich fortgingen, das Rad in einer Minute sehr nahe $85\frac{1}{2}$ Umdrehungen machen würde. Wird nun die Peripherie des Rades, welche $= 3{,}14 \cdot 24 = 75$ Zoll war, mit dieser Anzahl Umdrehungen multiplizirt, und mit der verflossenen Zeit von 60 Sekunden dividirt, so erhalten wir den Raum, den das Wasser in 1 Sek. zurücklegte $c = 106{,}9$ Zoll.

Eben so wird die Geschwindigkeit der Radschaufeln bei jedem Versuche erhalten, wenn die beobachtete Anzahl Umdrehungen mit der Peripherie des Rades $= 75$ Zoll multiplizirt und mit der verflossenen Zeit von 60 Sekunden dividirt wird; oder wenn wir die Anzahl der Umdrehungen des Rades $= U$ setzen, so ist $v = \frac{5}{4} U$. Diese Geschwindigkeit findet sich in der dritten Kolumne der folgenden Tabelle. Zum Uiberfluss wurde noch bei dem 9ten Versuch die Geschwindigkeit des Rades gemäss der Reihe, die sich aus den vier nächst vorhergehenden Versuchen ergibt, angenommen.

Die 4te Kolumne enthält den Uiberschuss, der sich ergibt, wenn von der Geschwindigkeit des Wassers $c = 106{,}9$ Zoll die Geschwindigkeit v der Schaufeln abgezogen wird.

Nummer der Versuche.	Gehobene Gewichte.	Geschwindigkeiten	
		v	c — v
1	37 Unzen	56,3	50,6
2	45 „	52,5	54,4
3	53 „	45,3	61,6
4	61 „	42,2	64,7
5	69 „	37,5	69,4
6	77 „	33,1	73,8
7	85 „	27,5	79,4
8	93 „	20,6	86,3
9	101 „	12,3	94,6

Die Peripherie des Rades bei diesen Versuchen war $= 75$ Zoll, die Peripherie der Welle, um welche die Schnur lief $= 9$ Zoll, die Breite des Schussgerinnes $= 4$ Zoll, die Höhe der Schaufeln gemäss seiner beigefügten Zeichnung $= 3$ Zoll, die Anzahl der Schaufeln $N = 24$, die Wassermenge W, welche in jeder Sekunde in das Schussgerinne floss, war $= 122$ Kub. Zoll, und das Gewicht eines Kub. Zolles Wasser $= 0{,}579$ Unzen *avoir du poids*. Hieraus folgt das Gewicht des in jeder Sekunde herbeifliessenden Stosswassers
Fig. 12. Tab. 56. $56{,}4\, W = 70{,}6$ Unzen, die Höhe desselben im Schussgerinne $a = 0{,}29$ Zoll, die Sehne des im Wasser gehenden Bogens (Fig. 12), nämlich $E e = 5{,}24$ Zoll, die Entfernung der Radschaufeln $LM = 3{,}13$ Zoll und die Anzahl der Schaufeln, die im Wasser gehen $\frac{Ee}{LM} = n = 1{,}7$.

Wenn wir nun die Geschwindigkeit c des Wassers mit dem in der vierten Kolumne angeführten Unterschiede der Geschwindigkeiten c — v dividiren, und den erhaltenen Quozienten mit der Anzahl Schaufeln, die im Wasser gehen, vergleichen, so ergibt sich, dass die drei ersten Versuche zum ersten Fall, alle übrigen aber zum zweiten Fall gehören.

Um die Resultate der Theorie unmittelbar mit den in der zweiten Kolumne angeführten Gewichten vergleichen zu können, wollen wir das Gewicht des Stosswassers, und eben so den Wasserstoss mit der Peripherie des Rades (= 75) multipliziren, und mit der Peripherie der Welle (=9) dividiren, um auf solche Art das aufzuziehende Gewicht daraus abzuleiten. Dem zufolge ist das Gewicht des herbeifliessenden Wassers, wenn dasselbe an die Peripherie der Welle reduzirt wird $56{,}4\ W \cdot \frac{A}{b} = 588{,}3$ Unzen, und das Gewicht des Wassers, welches an das Rad wirklich anstösst, ist in den ersten drei Versuchen (gemäss Seite 384) $= \frac{2}{3} \cdot 56{,}4 W \cdot \frac{A}{b} \cdot n \left(\frac{c-v}{c}\right) = 6{,}2\,(c-v) = \mu \,.\, 56{,}4\ W \cdot \frac{A}{b}$; in den übrigen Versuchen aber $= 56{,}4 W \,.\, \frac{A}{b} \left\{1 - \frac{1}{3\,n^2}\left(\frac{c}{c-v}\right)^2\right\} = 588{,}3 \left(1 - \frac{1318}{(c-v)^2}\right) = 56{,}4\,\mu \,.\, W \,.\, \frac{A}{b}$. Der Betrag dieser Wassermenge für jeden Versuch insbesondere findet sich in der zweiten Kolumne der folgenden Tabelle. Der Wasserstoss gemäss Seite 389 $K = 56{,}4\,\mu \,.\, W \,.\, \frac{A}{b}\left(\frac{c-v}{2g}\right) = 56{,}4\,\mu \,.\, W \,.\, \frac{A}{b} \cdot \frac{(c-v)}{384}$ befindet sich in der dritten Kolumne. Die Stauung ist gemäss S. 389 $= 56{,}4\,\mu \,.\, W \cdot \frac{A}{b} \cdot \frac{a}{2c}\left(\frac{c^2-v^2}{v^2}\right) = K \,.\, \frac{g \,.\, a}{c}\left(\frac{c+v}{v^2}\right) = K\left(\frac{106{,}9+v}{2\,v^2}\right)$ oder wenn wir die dort weggelassene kleine Verbesserung zur grössern Genauigkeit hier beibehalten, so ist dieser Widerstand $= K\left(\frac{c+v}{2\,v^2}\right)\left\{1 - \lambda\left(\frac{c-v}{c+v}\right)\right\}$. Dieser findet sich in der vierten Kolumne. Die Ursache, warum die am Umfange des Rades anstossende Wassermenge auf die Peripherie der Welle reduzirt wird, ist, um auf solche Art den aus der Rechnung hervorgehenden Wasserstoss u n m i t t e l b a r mit den von *Smeaton* angegebenen Gewichten vergleichen zu können, wogegen, wenn man diese Gewichte an die Peripherie des Rades, wo der Wasserstoss Statt findet, reduzirt hätte, die beobachteten Gewichte im Verhältniss der Halbmesser viel k l e i n e r geworden wären.

Der Widerstand der Luft und der Reibung lässt sich sehr vortheilhaft aus Herrn *Smeaton's* Versuchen unmittelbar berechnen, indem derselbe nebst den obigen Versuchen, die zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Wassers dienten, noch anführt, dass mit 2 Unzen in der Schale das Rad für sich allein und ohne Beihülfe des Wassers in einer Minute 30 Umdrehungen machte. Wird hierzu das Gewicht der Schale und Rolle (= 10 Unzen) addirt, und von der Summe, wie vorhin, die Hälfte genommen, so folgt, dass der Widerstand der Luft und der Reibung bei 85 Umdrehungen mit 17 Unzen und bei 30 Umdrehungen mit 6 Unzen im Gleichgewichte stand. Weil der Widerstand der Luft nach Seite 390 dem Quadrate der Geschwindigkeit des Rades, oder, was gleich viel ist, dem Quadrate der Umdrehungen proporzional ist, so wollen wir die Anzahl der Umdrehungen = U und den Widerstand der Luft allgemein $= L \,.\, U^2$ setzen.

Die Reibung ist, wie bekannt, theils der eigenen Last der Maschine, theils auch der gehobenen Last proporzional. Setzen wir die Reibung, welche von der Last der Maschine herrührt = R und die gehobene Last = Q, so ist die Reibung allgemein $= R + r \,.\, Q$. Dem gemäss haben wir folgende zwei Gleichungen

$L \cdot 85^2 + R + 17\,r = 17$ und $L \cdot 30^2 + R + 6\,r = 6$. Hieraus ist $L = \frac{1-r}{575}$, und $R = 4{,}43\,(1-r)$. Es kommt also noch allein auf die Bestimmung der Reibung an, die von der gehobenen Last Q herrührt, wozu r den Koeffizienten abgibt. Nach der Zeichnung, welche Herr *Smeaton* von seiner Maschine in Kupfer stechen liess, ist gemäss dem beigefügten Maasstabe: der Durchmesser des Rades $A = 24$ Zoll, Durchmesser der Welle $b = 3$ Zoll, Durchmesser des Zapfens an der Welle $\beta = \frac{1}{2}$ Zoll, Durchmesser der Rollen $d = 5$ Zoll, Durchmesser ihrer Achsen $\delta = \frac{1}{3}$ Zoll. Gemäss den Versuchen des Herrn *Coulomb* nehmen wir hier den Reibungskoeffizienten $m = \frac{1}{8}$ an.

Nach den Gesetzen der Statik ist das Reibungsmoment an der Achse der beweglichen Rolle $= m \cdot Q \cdot \delta$; wird diess mit dem Durchmesser dividirt, so ist $\frac{m \cdot Q \cdot \delta}{d}$ die Grösse der Reibung an der Peripherie der beweglichen Rolle. Hierzu kommt die Reibung an der festen Rolle; diese beträgt wieder $\frac{m \cdot Q \cdot \delta}{d}$, da hier der Druck $\frac{Q}{2}$ von jeder Seite vorhanden ist. Beide addirt geben $2\,m \cdot Q \cdot \frac{\delta}{d}$ als die Reibung, welche die Kraft an der Schnur zu überwältigen hat. Da wir den Wasserstoss $= \frac{b \cdot Q}{A}$ annehmen können, die Schnur aber mit der Spannung $\frac{Q}{2}$ hinaufzieht, so ist der Druck auf den Zapfen $\frac{b \cdot Q}{A} - \frac{Q}{2}$, folglich die Reibung auf den Umfang der Welle oder auf die Zugkraft an der Schnur reduzirt $= \frac{m \cdot \beta}{b}\left(\frac{b \cdot Q}{A} - \frac{Q}{2}\right) = m \cdot Q\left(\frac{\beta}{A} - \frac{\beta}{2\,b}\right)$. Beide Grössen zusammen geben

$r \cdot Q = m \cdot Q\left(\frac{2\,\delta}{d} + \frac{\beta}{A} - \frac{\beta}{2\,b}\right) = \frac{1}{113}\,Q$; oder $r = \frac{1}{113}$. Demnach ist der Widerstand der Luft $L \cdot U^2 = \frac{(1-r)}{575}\,U^2 = \frac{U^2}{580}$, und die Reibung

$R + r \cdot Q = 4{,}43\,(1-r) + r \cdot Q = 4{,}39 + \frac{Q}{113}$. Hierbei ist offenbar, dass, wenn auch die Bestimmung der Grösse r, wozu Herr *Smeaton* die genauen Abmessungen nicht selbst angegeben hat, einigen kleinen Fehlern unterworfen seyn sollte, diese sowohl auf den Widerstand der Luft, als auch auf die Reibung einen so kleinen Einfluss haben, dass wir die Grösse r vielmehr ganz hätten vernachlässigen können. Gemäss diesen Formeln wurde der Widerstand der Luft in der fünften, und die Reibung in der sechsten Kolumne der folgenden Tabelle berechnet. Die siebente Kolumne enthält die gehobenen Gewichte, so wie sie in der vorhergehenden Tabelle angeführt wurden. Die achte Kolumne enthält die Summe der vierten, fünften, sechsten und siebenten Kolumne. In der neunten Kolumne endlich befinden sich die Unterschiede, welche erhalten werden, wenn der berechnete Wasserstoss in der dritten Kolumne von der Summe des gesammten Widerstandes in der achten Kolumne abgezogen wird.

Nro.	Gewicht der anstossenden Wassermenge	Wasserstoss nach der Theorie	Widerstand der				Summe des ganzen Widerstandes	Unterschiede
			Stauung	Luft	Reibung	Gewicht		
	Unzen							
1	314	41,4	0,9	3,5	4,7	37	46,1	— 4,7
2	337	47,7	1,2	3,0	4,8	45	54,0	— 6,3
3	382	61,3	2,0	2,3	4,9	53	62,2	— 0,9
4	403	67,9	2,5	2,0	4,9	61	70,4	— 2,5
5	427	77,2	3,4	1,6	5,0	69	79,0	— 1,8
6	446	85,7	4,8	1,2	5,1	77	88,1	— 2,4
7	465	96,1	7,8	0,8	5,1	85	98,4	— 2,3
8	484	108,8	14,4	0,5	5,2	93	113,1	— 4,3
9	502	123,7	43,0	0,2	5,3	101	149,5	— 25,8

Wir sehen hieraus: 1tens. Dass der berechnete Wasserstoss nach unserer Theorie mit der Summe des ganzen Widerstandes nahe übereinkomme. Beim 1. und 2. Versuche findet sich eine Irregularität, die man schon oben an der unregelmässigen Abnahme der beobachteten Umdrehungen des Rades wahrnehmen konnte. Dem Herrn *Smeaton* war eigentlich nur an der Genauigkeit des 3., 4., 5. und 6. Versuchs gelegen, bei welchen eben so wie beim siebenten Versuch der ausgefallene Unterschied nur beiläufig den vierzigsten Theil des gesammten Widerstandes beträgt. 2tens. Die zweite Kolumne gibt zu erkennen, wie beträchtlich das anstossende Wasser kleiner sey, als die herbeifliessenden 588 Unzen Wasser. Beim fünften Versuch, wo die Wirkung des Rades am grössten war, fehlten 588 — 427 = 161 Unzen oder beinahe der vierte Theil der ganzen Wassermenge. Wenn Herr *Smeaton* für sein Rad eine grössere Anzahl Schaufeln gewählt hätte, so würde er von dem nämlichen Wasser eine viel grössere Wirkung erhalten haben. 3tens. Die Stauung, in der vierten Kolumne wird um so merklicher, je langsamer die Bewegung des Rades ist, und ihrer Grösse ist es vorzüglich zuzuschreiben, warum das Rad beim neunten Versuche stehen blieb. Nach der Erzählung des Herrn *Smeaton* hatte das Rad anfangs eine kurze Bewegung angenommen, als sich aber das Wasser wegen zu langsamen Abfluss vor den Schaufeln anhäufte, blieb dasselbe stehen; welches unserer Theorie vollkommen gemäss ist. Denn wenn wir beim neunten Versuch die Stauung weglassen oder nicht viel grösser als beim vorhergehenden Versuch annehmen, so findet sich gleichfalls der Wasserstoss grösser als die Summe des Widerstandes.

§. 293.

Die übrigen Versuche, die H. *Smeaton* noch anführt, wurden auf gleiche Art, wie die vorhergehenden, berechnet. In der 1. Kolumne der folgenden Tabelle befinden sich Nummern, wodurch die angeführten Versuche in einer fortlaufenden Reihe gezählt werden. Die 2., 3., 4. und 5. Kolumne enthält Zahlen, welche aus den Beobachtungen des H. *Smeaton* genommen wurden. Die Zahlen der 6., 7., 8. und 9. Kolumne sind aus dem vorhergehenden gemäss unserer Theorie berechnet worden. Weil H. *Smeaton* den Widerstand der Luft und der Reibung durch eigene Versuche bestimmte, und mit den gehobenen Gewichten, in der

5. Kolumne, in eine Summe zusammenzog, so war nicht nöthig, selben hier besonders zu berechnen. Die 10. Kolumne enthält den Uiberschuss des Wasserstosses über die Stauung. Wenn endlich dieser Uiberschuss mit den gehobenen Gewichten in der 5. Kolumne verglichen wird, so ergeben sich die Unterschiede der Theorie und Erfahrung, welche in der 11. Kolumne angeführt werden.

Nro.	Herbeifliessendes Wasser in 1 Sekunde $56{,}4\,W.\frac{A}{b}$	Geschwindigkeit des Wassers c	Geschwindigkeit der Schaufeln v	Gehobene Gewichte sammt Reibung und Widerstand der Luft	Höhe des Wassers im Gerinne a	Anstossende Wassermenge $56{,}4\,\mu.W.\frac{A}{b}$	Wasserstoss K	Stauung	Sichtbarer Wasserstoss	Unterschiede der Theorie von der Erfahrung
	Unzen	Zolle		Unzen	Zolle	Unzen				
10	611	110	37	84,5	0,29	451	85,7	4,0	81,7	+2,8
11	588	108	37	75	0,28	411	76,0	3,4	72,6	+2,4
12	540	103	35	67	0,27	379	67,1	3,2	63,9	+3,1
13	522	98	34,6	58,5	0,28	360	59,4	2,8	56,6	+1,9
14	476	94	32	50,5	0,26	334	53,9	2,8	51,1	—0,6
15	442	88	30	42,5	0,26	310	46,8	2,6	44,2	—1,7
16	397	81	29	34	0,25	272	36,8	2,4	34,4	—0,4
17	358	75	27,5	26,5	0,25	242	29,9	1,7	28,2	—1,7
18	298	65	24	20	0,24	187	20,0	1,3	18,7	+1,3
19	253	53	20	13	0,25	168	14,4	1,1	13,3	—0,3
20	720	105	39	87	0,36	552	94,9	3,5	91,4	—4,4
21	660	101	36	75	0,34	496	84,0	4,0	80,0	—5,0
22	633	90	32	67,5	0,36	492	74,3	4,1	70,2	—2,7
23	615	86	31	55	0,37	476	68,2	3,7	64,5	—9,5
24	520	78	31	39	0,34	373	45,7	2,4	43,3	—4,3
25	447	70	29	30,5	0,33	313	33,4	1,8	31,6	—1,1
26	372	57	26	18	0,33	243	19,6	1,0	18,6	—0,6
27	793	90	36	75	0,46	626	88,0	3,8	84,2	—9,2
28	733	82	34	59	0,46	571	71,4	3,3	68,1	—9,1
29	567	72	31	40	0,41	421	45,0	2,2	42,8	—2,8
30	507	60	29,4	24	0,44	360	28,7	1,3	27,4	—3,4
31	798	85	34	67	0,49	645	85,7	4,0	81,7	—14,7
32	738	72	33	46,5	0,53	579	58,8	2,6	56,2	—9,7
33	582	60	30,6	28	0,50	429	32,8	1,5	31,3	—3,3
34	789	75	34	51	0,55	623	66,5	2,9	63,6	—12,6
35	682	62	31	32,5	0,57	510	41,1	1,8	39,3	—6,8
36	800	62	32	36,5	0,67	618	48,3	2,1	46,2	—9,7

Die Uibereinstimmung dieser Versuche mit der angeführten Theorie dürfte hinreichen. Uibrigens ist auch in diesen Versuchen das anstossende Wasser (in der siebenten Kolumne) beträchtlich kleiner als das herbeifliessende (in der zweiten Kolumne), woran, wie schon erinnert worden, die zu geringe Anzahl der Schaufeln Schuld ist. Wir haben bereits S. 353 gesehen, dass die vortheilhafteste Geschwindigkeit des Rades nebst den Gesetzen des Wasserstosses noch von der Anzahl der im Wasser gehenden Schaufeln nach Seite 389 und vom Verhältniss der Höhe des Wassers im Schussgerinne zur Höhe, welche der Geschwindigdigkeit des Wassers zugehört, abhänge; weil aber alle diese Grössen bei jedem Versuche eine Aenderung erlitten haben, so ist leicht begreiflich, warum Herr *Smeaton* die vortheilhafteste Geschwindigkeit des Rades so sehr veränderlich gefunden habe, und warum selbe den Gesetzen des *Parent* um so näher kam, je weniger der Widerstand der Stauung betrug. Sowohl der Unterschied des herbeifliessenden und anstossenden Wassers, als auch die Stauung sind zu beträchtlich, als dass sich die gegebenen Annäherungen S. 353 und 389 hierbei anwenden liessen. Eine genauere Auseinandersetzung dessen aber erfordert mühsame Rechnungen, die man hier so viel als möglich zu vermeiden suchte, und welche im gegenwärtigen Falle um so mehr wegbleiben können, als nicht abzusehen ist, welcher nützliche Gebrauch davon gemacht werden könnte.

§. 294.

Herr *Abbé Bossut* hat theils in Schussgerinnen, theils auch in Kanälen, deren Querschnitt viel grösser war als die Schaufeln des Rades, mehrere Versuche angestellt, um durch selbe die vortheilhafteste Anordnung der Wasserräder auf dem Wege der Erfahrung ausfindig zu machen. Da die letztern Versuche zu unserm Gegenstande nicht gehören, so werden wir nur die erstern anführen und mit der vorgetragenen Theorie zusammen halten.

Seine Maschine war so eingerichtet, wie oben (Seite 385) erwähnt worden; die Abmessungen derselben waren folgende:

Durchmesser der äusseren Peripherie des Rades	$A =$	36	Zoll
„ „ „ Welle sammt der Schnur	$b =$	$2\frac{2}{3}$	„
„ „ „ Wellenzapfen	$\beta =$	$\frac{1}{4}$	„
„ „ „ festen Rolle, über welche die Schnur lief	$d =$	$3\frac{2}{3}$	„
„ „ „ Rollenzapfen	$\delta =$	$\frac{2}{9}$	„
Breite der Schaufeln	$B =$	5	„
Höhe der Schaufeln, welche vom anstossenden Wasser nie überstiegen wurde	$=$	6	„
Anzahl der Schaufeln	$N =$	48	„
Gewicht des ganzen Rades	$M =$	44	Pfund.

Es fehlte beyläufig $\frac{1}{2}$ Linie, dass die Radschaufeln den Boden und die Wände des Gerinnes nicht berührten. Das Wasser floss in das Gerinne aus einem grossen Behältniss, worin beständig einerlei Höhe über den Boden der Ausflussöffnung unterhalten wurde. Diese Höhe war = 12 Zoll, die Breite der Oeffnung = 5 Zoll, und ihre Höhe

= 2 Zoll. Gemäss dem 473ten und 716ten §. seiner Hydrodynamik flossen durch diese Oeffnung in jeder Sekunde 552 Kub. Zolle, oder 22 Pfund Wasser.

Die Geschwindigkeit des Wassers, welche der Höhe des Wasserstandes über der Mitte der Ausflussöffnung (= 11 Zolle) zugehört, ist 91,5 Zoll. Dass Schussgerinne hatte aber auf jede 10 Fuss horizontaler Entfernung vom Behältniss 1 Fuss Gefälle; und weil das Rad von der Ausflussöffnung 50 Fuss entfernt war, so betrug dieses Gefälle bis zum Rade noch 5 Fuss. Durch diesen beträchtlichen Fall wurde das Wasser nach seinem Ausflusse aus dem Behältniss noch beschleuniget, es erhielt jedoch bald diejenige Geschwindigkeit, mit der es die ganze Länge des Gerinnes (= 300 Fuss) gleichförmig durchfloss. Wenn die Schütze geöffnet und das Wasser in das Schussgerinne eingelassen wurde, so legte das erste Wasser den Raum von 100 Fuss in 11 Sekunden zurück; kleine Stückchen Pantoffelholz, die auf die Mitte des Wassers geworfen wurden, nachdem es seinen vollen Lauf angenommen hatte, durchliefen eben diesen Raum in 9 Sekunden. Die erste Erfahrung gibt die Geschwindigkeit des Wassers am Boden des Gerinnes beinahe = 108 Zoll: die zweite gibt die Geschwindigkeit auf der Oberfläche = 133 Zoll. Dass Mittel von beiden ist 120,5 Zoll. Die mittlere Geschwindigkeit des Stosswassers (= c) ist aber kleiner als das eben angeführte Mittel, weil erstens: die Geschwindigkeit des Wassers, nachdem es seinen vollen Lauf angenommen hat, am Boden kleiner ist, als die Geschwindigkeit des ersten Wassers, welches durch die immer zunehmende Höhe des nachfolgenden Wassers beschleuniget wird. Zweitens: fliesst das Wasser auch an den Seitenwänden eben so langsam, als am Boden, weil es an selben die nämlichen Hindernisse erfährt. Hieraus folgt, dass das gehinderte, langsammer fliessende Wasser von der ganzen Querschnittsfläche einen grössern Raum einnimmt, als das geschwindere auf der Mitte der Oberfläche. Da nun die Zeit, in welcher das Wasser mit seiner mittlern Geschwindigkeit den Raum von 100 Fuss zurücklegte, zwischen 10 und 11 Sekunden fällt, und nicht viel grösser als 10 Sekunden seyn kann, so wollen wir aus Mangel anderer Gründe, hierzu $10\frac{1}{3}$ Sekunde annehmen, wodurch wir wenigstens der Wahrheit näher zu kommen hoffen können, als wenn wir auf diese angeführten Gründe gar keine Rücksicht genommen hätten. Hieraus folgt die mittlere Geschwindigkeit des Stosswassers c = 116 Zoll.

In der zweiten und dritten Kolumne der folgenden Tabelle stehen die Beobachtungen so, wie sie vom Herrn *Abbé Bossut* im 1008ten §. seiner Hydrodynamik angeführt werden.

Wenn wir die Wassermenge, welche in jeder Sekunde in das Gerinne floss, (B.a.c = 552 Kub. Zoll) mit dem Produkte aus der Breite des Gerinnes in die Geschwindigkeit des Wassers (B.c = 5.116) dividiren, so erhalten wir die Höhe des Wassers im Schussgerinne $a = \frac{552}{5.116} = 0{,}95$ Zoll; weil aber der Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Boden des Gerinnes $\frac{1}{2}$ Linie (= 0,04 Zoll) beträgt, so waren die Schaufeln 0,91 Zoll tief ins Wasser eingesenkt. Werden diese vom Durchmesser des Rades (= 36 Zoll) abgezogen, und für den übrig bleibenden Durchmesser (= 35,1) die Peripherie des Kreises gesucht, so ist die Peripherie des Rades für die Mitte des Stosses = 110,3 Zoll. Wird endlich diese mit der Anzahl der beobachteten Umdrehungen des Rades multiplizirt, und mit der Anzahl Sekunden, in welchen diese Umdrehungen

geschehen sind, dividirt, so erhalten wir die Geschwindigkeit der Radschaufeln (v), so wie sie den Beobachtungen des Herrn *Abbé Bossut* in der fünften Reihe der folgenden Tabelle beigesetzt wurden.

Nro.	Gewichte an der Schnur.	Umdrehungen des Rades in 40 Sekunden.	Geschwindigkeit des Wassers c.	Geschwindigkeit des Rades v.	Unterschied der Geschwindigkeiten c — v.
37	30 ½ Pfund	22 12/48	116	61,4	54,6
38	31	22 3/48	116	60,8	55,2
39	31 ½	21 42/48	116	60,3	55,7
40	32	21 32/48	116	59,7	56,3
41	32 ½	21 20/48	116	59,1	56,9
42	33	21 8/48	116	58,4	57,6
43	33 ½	20 44/48	116	57,7	58,3
44	34	20 32/48	116	57,0	59,0
45	34 ½	20 21/48	116	56,4	59,6
46	35	19 44/48	116	54,9	61,1
47	35 ½	19 15/48	116	53,3	62,7
48	36	18 28/48	116	51,2	64,8

Bevor wir diese Erfahrungen mit unserer Theorie vergleichen können, müssen wir erst von dem Stosswasser (= 22 Pfund) dasjenige Wasser abziehen, welches dem Spielraume zwischen den Schaufeln und Wänden des Gerinnes zugehört, weil dasselbe offenbar neben den Schaufeln floss, folglich nicht an die Schaufeln stossen konnte. Um jedoch über diese Kleinigkeit nicht allzu weitläufige Rechnungen beizubringen, wollen wir sie nur allein für den 42ten und 43ten Versuch, welche unter den angeführten die mittleren sind, berechnen, und für alle übrigen Versuche ohne Unterschied von gleicher Grösse annehmen. Die Geschwindigkeit des Wassers am Boden war beinahe 108 Zoll; wenn wir diese mit der Fläche des Spielraums zwischen dem Boden des Gerinnes und den Radschaufeln (= 5/24 Quadratzoll) multipliziren, so erhalten wir 22,5 Kub. Zoll Wasser, welche in jeder Sekunde unter dem Rade durchflossen. Wir werden noch in der Folge sehen, dass das Wasser beim Stosse vor jeder Schaufel wenigstens auf 5 ½ Zoll in die Höhe stieg; weil es nun auf diesem höchsten Punkte mit der Geschwindigkeit des Rades (58 Zoll), am Boden aber mit der jetzt angeführten Geschwindigkeit (108 Zoll) sich fortbewegte, so ist die mittlere Geschwindigkeit desselben = 83 Zoll. Wird diese mit dem Spielraume an beiden Seitenwänden (= 11/24 Quadratzoll) multiplizirt, so ergibt sich, dass neben den Radschaufeln 38,0 Kub. Zoll dahin flossen. Die Summe von beiden ist 60,5 Kub. Zoll = 2,4 Pfunde. Daher ist 56,4 W = 22 — 2,4 = 19,6 Pfunde.

Weil die Schaufeln 0,91 Zolle tief im Wasser gingen, so ist die Sehne Fig.
E e $= 2\sqrt{0{,}91 \,.\, 35{,}1} = 11{,}3$ Zolle. Wenn die äussere Peripherie des Rades (= 113 Zolle) 12.
mit der Anzahl der Schaufeln (= 48) dividirt wird, so ergibt sich die Entfernung der Tab. 56

Fig. 12. Tab. 56. Schaufeln $LM = 2{,}35$ Zolle. Hieraus erhalten wir die Anzahl der Schaufeln, welche zu gleicher Zeit mit einander im Wasser gingen, $\frac{Ee}{LM} = n = 4{,}81$.

Bei dem ersten Versuche Nr. 37 ist $\frac{c}{c-v} = \frac{116}{54{,}6} = 2{,}12$; folglich kleiner als die Anzahl Schaufeln, die zu gleicher Zeit im Wasser gehen $n = 4{,}81$, bei den übrigen Versuchen ist $\frac{c}{c-v}$ noch kleiner; aus dieser Ursache gehören alle diese Versuche zum zweiten Falle des Wasserstosses, und die anstossende Wassermenge richtet sich (gemäss Seite 384) nach der Formel $W\left(1 - \frac{1}{3n^2} \cdot \frac{c^2}{(c-v)^2}\right) = \mu . W$. Weil aber der Wasserstoss sich zur gehobenen Last verhält, wie der Durchmesser der Welle ($b = 2^1/_3$) zum Durchmesser des Rades ($A = 35{,}1$), so wollen wir die anstossende Wassermenge mit dem letztern Verhältniss multipliziren, um sonach den Wasserstoss unmittelbar mit den gehobenen Gewichten vergleichen zu können. Zu dieser Absicht ist das Gewicht der anstossenden Wassermenge nach der Formel $56{,}4 \frac{a}{b} \cdot \mu \cdot W = 258\left(1 - \frac{194}{(c-v)^2}\right)$ berechnet, und das Resultat für jeden Versuch insbesondere in die dritte Kolumne der folgenden Tabelle gesetzt worden. In der vierten Kolumne befindet sich der Wasserstoss $K = 56{,}4 \frac{A}{b} \cdot \mu \cdot W\left(\frac{c-v}{2g}\right) = 56{,}4 \frac{A}{b} \cdot \mu \cdot W\left(\frac{c-v}{362}\right)$. Die fünfte Kolumne enthält die Stauung nach Seite $393 = K . g \cdot \frac{a}{c}\left(\frac{c+v}{v^2}\right)$. Wird hier statt c die Seite 398 angeführte mittlere Geschwindigkeit $= 116$ Zoll und $a = 0{,}95$ Zoll gesetzt, so folgt hieraus die Stauung $= K \cdot 181 \cdot \frac{0{,}95}{116}\left(\frac{c+v}{v^2}\right) = 1{,}5\, K\left(\frac{c+v}{v^2}\right)$.

Der Widerstand der Luft wurde, den Erfahrungen des Herrn *Bossut* gemäss, nur halb so gross als nach §. 291, nämlich $= {}^1/_2\, \alpha . N . f \cdot \frac{v^2}{4g} = \frac{v^2}{1500}$ angenommen. Die Reibung richtet sich in dem vorliegendem Falle nach der Formel $m.M \cdot \frac{\beta}{b} - m . Q\left(\frac{2\delta}{d} + \frac{\beta}{A} - \frac{\beta}{2b}\right)$, wo M das Gewicht des Rades ($= 44$ Pfunde), und Q die angehängte Last an der Schnur bedeuten. Setzen wir den Reibungskoeffizienten $m = {}^1/_8$, und für die übrigen Buchstaben die vorhin angegebenen Werthe, so wird die Reibung $= 0{,}5 - \frac{Q}{233}$.

In der achten Kolumne ist die Summe des gesammten Widerstandes der Stauung, Luft, und Reibung von der Kraft des Wasserstosses (in der vierten Kolumne) abgezogen worden. Die neunte Kolumne endlich enthält die Unterschiede der achten und zweiten Kolumne.

Nro.	Gewichte an der Schnur.	Anstossende Wassermenge.	Kraft des Wasserstosses.	Widerstand der			Uibrigbleibende Stosskraft.	Unterschiede der Theorie und Erfahrung.
				Stauung.	Luft.	Reibung.		
	Pfunde.	Pfunde.	Pfunde.	Pfunde.	Pfunde.	Pfunde.	Pfunde.	Pfunde.
37	30,5	241	36,3	2,6	2,5	0,4	30,8	— 0,3
38	31,0	242	36,9	2,6	2,5	0,4	31,4	— 0,4
39	31,5	242	37,2	2,7	2,4	0,4	31,7	— 0,2
40	32,0	242	37,6	2,8	2,4	0,4	32,0	0,0
41	32,5	243	38,2	2,9	2,3	0,4	32,6	— 0,1
42	33,0	243	38,7	3,0	2,3	0,4	33,0	0,0
43	33,5	243	39,1	3,1	2,2	0,4	33,4	+ 0,1
44	34,0	244	39,8	3,2	2,2	0,4	34,0	0,0
45	34,5	244	40,2	3,3	2,1	0,4	34,4	+ 0,1
46	35,0	245	41,4	3,5	2,0	0,4	35,5	— 0,5
47	35,5	245	42,4	3,8	1,9	0,4	36,3	— 0,8
48	36,0	246	44,0	4,2	1,7	0,4	37,7	— 1,7

Die Unterschiede in der letzten Kolumne sind so klein, dass man kaum eine genauere Uibereinstimmung wünschen kann, vorzüglich vom 40ten bis 45ten Versuch, zwischen welche der vortheilhafteste Wasserstoss fällt.

Bei den letzten zwei Versuchen würde sich noch eine genauere Uibereinstimmung der Theorie und Erfahrung ergeben haben, wenn wir die Wassermenge, welche neben den Schaufeln vorbeifliesst, für diese Versuche besonders in Rechnung genommen hätten.

§. 295.

Die merkwürdige Uibereinstimmung, welche die Resultate dieser von *Bossut* im J. 1777 bekannt gemachten Versuche mit der aufgestellten Theorie geben, kann als der richtigste Maasstab zur Begründung der letztern angesehen werden. Es ist indess nicht zu zweifeln, dass sich auch bei den Versuchen von *Smeaton* eine grössere Uibereinstimmung zeigen würde, wenn er unsere Theorie gekannt und derselben gemäss seine Versuche eingerichtet hätte. Da es nun von Wichtigkeit ist, noch mehrere Versuche hierüber anzustellen, so glauben wir, dass das Interesse dieser Versuche dadurch sehr gewinnen würde, wenn man nebst dem von *Smeaton* beobachteten Verfahren immer ein und dasselbe Gewicht beibehält und dagegen den Durchmesser der Welle oder des Korbes, um welchen das Seil läuft, abändert oder denselben anfangs kleiner annimmt und dann nach und nach vergrössert. Man wird hieraus sehen, dass die nämliche angehängte Last mit einerlei Wasserrad, Wassermenge und Gefäll auf dieselbe Höhe in verschiedenen Zeiten gehoben wird und man wird immer einen Durchmesser finden, bei welchem diess in der kürzesten

Zeit geschieht. Man sieht leicht ein, dass durch die Abänderung der Hebelsarme wohl jede Last gehoben werden kann, dass jedoch das Minimum der Zeit, in welcher diese Hebung verrichtet wird, nur durch das angemessene Verhältniss der Geschwindigkeit der Radschaufeln zur Geschwindigkeit des Wassers erreicht werde.

§. 296.

Werden **Mühlen auf Schiffe gesetzt**, sonach unterschlächtig betrieben, so können dieselben nach gleichen Grundsätzen wie die unterschlächtigen Mühlen behandelt werden. Der Unterschied in ihrer Bauart besteht aber vorzüglich darin, dass die Schaufeln der Schiffmühlräder viel grösser gemacht werden müssen, weil die Geschwindigkeit des Wassers selbst in grösseren Flüssen nicht so bedeutend ist, als jene, welche das Wasser in den meisten Mühlkanälen durch die Stauung des Wehres erhält.

Zur Bemessung der Wirkung der Schiffmühlräder dient sonach folgende Rechnung. Fig. 13. Tab. 56. Es sey die Geschwindigkeit des Flusswassers $= c$, die Geschwindigkeit der Radschaufeln $= v$ und die Entfernung der Schaufeln von einander $= E$, so erhalten wir, wie bereits bei den frühern Rechnungen gezeigt wurde, die Zeit, in welcher diese Entfernung E von den Radschaufeln zurückgelegt wird $= \frac{E}{v}$ und wenn dass Flusswasser in derselben Zeit den Raum LO zurücklegt, so ist $\frac{LO}{c} = \frac{E}{v}$, demnach $LO = \frac{E.c}{v}$. Da nun für alle Punkte O′, N, A, welche die Schaufel O o bei ihrem Einsinken in das Wasser nach und nach berührt, dieselbe Gleichung Statt findet, sonach $LO = L'O' = KN = HA$ ist, so ergibt sich, dass zwischen jeden zwei hinter einander folgenden Schaufeln während ihrer Bewegung von der Oberfläche O bis zum niedrigsten Punkte A die Wassermenge $LOO'NAHKL'L = LO.aA$ eingeschlossen wird.

Wir wollen nun untersuchen, wie viel von dieser Wassermenge die Schaufel O o auf ihrem Wege von O nach A bis S wirklich erreichen könne und desswegen genöthigt werde, seine Geschwindigkeit c in jene der Schaufel v zu verändern. Zu dieser Absicht gibt uns der Umstand, dass die Räume $O\gamma$ und $L\gamma$, wovon der erste von der Schaufel mit der Geschwindigkeit v, der zweite $L\gamma$ aber vom Wasser mit der Geschwindigkeit c zurückgelegt wird, in einerlei Zeit beschrieben werden, die Gleichung $\frac{O\gamma}{v} = \frac{L\gamma}{c} = \frac{LO + O\gamma}{c}$. Daraus folgt $O\gamma = LO\left(\frac{v}{c-v}\right)$ und wenn wir statt LO den Werth $E \cdot \frac{c}{v}$ setzen, so ist $O\gamma = E\left(\frac{c}{c-v}\right)$. Wenn demnach das anstossende Wasser die Schaufel noch vor ihrem Austritte erreicht, so muss $O\gamma$ kleiner als OS oder $E\left(\frac{c}{c-v}\right)$ kleiner als $n.E$ seyn, wenn nämlich n die Anzahl der an der Oberfläche im Wasser gehenden Schaufeln bezeichnet. Für diesen Fall haben wir bereits bei den unterschlächtigen Rädern die anstossende Wassermenge $= a.b.c\left(1 - \frac{c^2}{3n^2.(c-v)^2}\right)$ gefunden. Wenn aber der Punkt γ hinter S fällt, sonach der Punkt L die Schaufel vor ihrem Austritt aus dem Wasser nicht erreicht, welcher Fall vorzüglich bei einer

sehr langsamen Bewegung des Wassers Statt findet, so müssen wir zur Bestimmung der anstossenden Wassermenge den Punkt U suchen, welcher die betreffende Schaufel bei ihrem Austritte aus dem Wasser in S einholt. Weil der Raum O S mit der Geschwindigkeit v, der Raum U S mit der Geschwindigkeit c und beide in gleicher Zeit zurückgelegt werden, so haben wir die Gleichung $\frac{OS}{v} = \frac{US}{c} = \frac{UO + OS}{c}$, woraus $UO = OS\left(\frac{c-v}{v}\right)$ folgt. Auf gleiche Art ergibt sich unterhalb der Oberfläche des Wassers in jeder horizontalen Linie L′ U′ O′ S′ die Länge des anstossenden Wasserfadens $U'O' = O'S'\left(\frac{c-v}{v}\right)$. Da für alle Punkte von der Oberfläche O bis an den tiefsten Punkt A der Radschaufeln dieselbe Gleichung Statt findet, so folgt, dass die ganze zum Stoss gelangende Wassermenge durch die Fläche UU′ANO′O angegeben und der Fläche $OSA\left(\frac{c-v}{v}\right)$ gleich seyn werde. Nun können wir die Fläche O S A sehr nahe $= \frac{2}{3}\,OS.Aa$ setzen, mithin wird die zum Stoss gelangende Wassermenge $= \frac{2}{3}\,a \cdot b \cdot OS\left(\frac{c-v}{v}\right)$ seyn, wenn nämlich a die Höhe A a der Schaufeln und b ihre Breite bezeichnet. Fig. 13. Tab. 56.

Die zwischen zwei Schaufeln eingeschlossene Wassermenge L O O′ N A H K L′ L verhält sich daher zu der zum Stoss gelangenden Wassermenge U O O′ N A U′ U wie $LO.a.b : \frac{2}{3}a.b.OS\left(\frac{c-v}{v}\right)$. Setzen wir nun statt L O den Werth $E \cdot \frac{c}{v}$, so haben wir auch $E \cdot \frac{c}{v} \cdot b.a : \frac{2}{3}a.b.OS\left(\frac{c-v}{v}\right)$ so wie der Wasserzufluss in jeder Sekunde a . b . c zu der in jeder Sekunde anstossenden Wassermenge M′. Daraus folgt diese Wassermenge $M' = \frac{2}{3}a.b.\frac{OS}{E}(c-v)$. Weil n die Anzahl der im Wasser gehenden Schaufeln bezeichnet, so ist $n.E = OS$, demnach die anstossende Wassermenge $M' = \frac{2}{3}a.b.n(c-v)$.

Diese Formel muss statt der obigen in dem Falle gesetzt werden, wenn L O grösser als U O oder wenn $\frac{c.E}{v}$ grösser als $OS\left(\frac{c-v}{v}\right)$ oder auch $\frac{c.E}{v}$ grösser als $n.E\left(\frac{c-v}{v}\right)$, folglich wenn die Anzahl der im Wasser gehenden Schaufeln n kleiner als $\frac{c}{c-v}$ ist. In diesem Falle ist aber das Bewegungsmoment $56{,}4\,M'\left(\frac{c-v}{2g}\right)v = \frac{2}{3}.56{,}4.a.b \cdot \frac{n(c-v)^2 \cdot v}{2g} = \frac{2}{3}.56{,}4.a.b \cdot \frac{OS(c-v)^2.v}{E.2g}$. Da in diesem Ausdrucke nur die Grösse $v(c-v)^2$ veränderlich ist, so findet das Maximum für den Fall $v = \frac{1}{3}c$ Statt.

Setzen wir nämlich $v = \frac{5}{6}c$, so wird $v(c-v)^2 = \frac{5}{216}c^3$
„ „ „ $v = \frac{4}{6}c$, „ „ $v(c-v)^2 = \frac{16}{216}c^3$
„ „ „ $v = \frac{3}{6}c$, „ „ $v(c-v)^2 = \frac{27}{216}c^3$
„ „ „ $v = \frac{2}{6}c$, „ „ $v(c-v)^2 = \frac{32}{216}c^3$
„ „ „ $v = \frac{1}{6}c$, „ „ $v(c-v)^2 = \frac{25}{216}c^3$.

Diese Regel, dass $v = \frac{1}{3}c$ seyn solle, wurde bereits von *Parent* angegeben; wir sehen jedoch, dass sie nur für den Fall gilt, wenn n kleiner als $\frac{c}{c-v}$ oder n klei-

Fig. 13. Tab. 56. ner als $^3/_2$ folglich wenn abwechselnd 1 und 2 Schaufeln im Wasser gehen.

Setzen wir für v den gefundenen Werth $^1/_3$c, so ist das vortheilhafteste Bewegungsmoment $= 56{,}4\,a.b.c.n \cdot \frac{16}{81} \cdot \frac{c^2}{4g} = 56{,}4\,a.b.c \cdot \frac{OS}{E} \cdot \frac{16}{81} \cdot \frac{c^2}{4g}$. Weil aber in dieser Gleichung angenommen wird, dass alle Wasserfäden in gerader Richtung gegen die Schaufeln fortgehen und so, wie es bei den geschlossenen Mühlgerinnen der Fall war, zur Seite nicht ausweichen können, so haben mehrere Schriftsteller diese Gleichung noch mit dem Verhältnisse des geraden zum schiefen Stosse zu multipliziren erachtet. Dieses ist nach den Erfahrungen von *Woltmann* $= ^2/_3$ und nach der Erfahrung von *Eytelwein* $= 0{,}7886$. Nehmen wir mit Rücksicht auf die Erfahrungen den beinahe mittleren Werth $^3/_4$ an, so erhalten wir das Bewegungsmoment, welches vom Wasser auf ein Schiffmühlrad ausgeübt wird $= 56{,}4\,a.b.c.n \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{c^2}{4g}$, wornach die Anlage der Mühle gemacht werden kann.

§. 297.

Wir wollen nun annehmen, dass eine Schiffmühle zum Getreidemahlen eingerichtet werden soll. Nach den Seite 372 für das Mahlquantum der Prager Mühlen angeführten Versuchen folgt, dass zur Vermahlung von 30 Metzen Korn zu ordinärem Brodmehl das Bewegungsmoment 3500 nothwendig sey. Hieraus ergibt sich für das nöthige Bewegungsmoment eines Schiffmühlenrades, welches dieselbe Quantität Korn vermahlen soll, die Gleichung $3500 = 56{,}4\,a \cdot b \cdot c \cdot n \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{c^2}{4g}$. Um in dieser Gleichung die Anzahl n der im Wasser gehenden Schaufeln wegzuschaffen, können wir nach der Theorie des Kreises $^1/_2\,OS = \sqrt{(2R-a)a}$ setzen. Nehmen wir ferner die Anzahl aller Schaufeln an der ganzen Peripherie $= N$ an, so ist die mittlere Entfernung dieser Schaufeln $E = \frac{2\pi(R - ^1/_2 a)}{N}$, folglich haben wir

$n = \frac{OS}{E} = \frac{N \cdot 2\sqrt{(2R-a)a}}{\pi(2R-a)} = \frac{2N}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a}{2R-a}}$. Setzen wir nun diesen Werth in die obige Gleichung, so ergibt sich $3500 = 56{,}4\,a \cdot b \cdot c \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{2N}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a}{2R-a}}$, woraus die nöthige Grösse der Schaufeln a·b für jede Geschwindigkeit c des Wassers berechnet werden kann.

Beispiel. Wir wollen annehmen, es sey die Geschwindigkeit des Wassers $c = 6$ Fuss, die kleinste Tiefe des Wassers sey gleich der Höhe der Schaufeln $a = 3$ Fuss, der Halbmesser des Rades sey $R = 9$ Fuss und die Anzahl der Schaufeln an der Peripherie der Anzahl der Radarme gleich, oder $N = 6$, so haben wir die Gleichung:

$3500 = 56{,}4 \cdot 3 \cdot b \cdot 6 \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{36}{62} \cdot \frac{7 \cdot 12}{22} \sqrt{\frac{3}{18-3}}$. Hieraus folgt die nöthige Breite der Radschaufeln $b = 23$ Fuss.

Wir müssen jedoch hierbei erinnern, dass bei einer grössern Anzahl Schaufeln die Aufgabe auf den Fall der unterschlächtigen Räder zurückgeführt und dadurch auch ein vortheilhafteres Bewegungsmoment erhalten werden könne. Zu dieser Absicht wollen wir in dem gegenwärtigen Falle die Zahl der Schaufeln $N = 24$ annehmen; demnach ist die Entfernung derselben $E = \frac{22}{7} \frac{(2R - a)}{24} = \frac{22}{7} \cdot \frac{15}{24} = 2{,}0$ Fuss. Fig. 13. Tab. 56.

Wird nun mit dieser Entfernung in die an der Oberfläche des Wassers liegende Sehne des Rades $OS = 2\sqrt{(2R - a)a} = 2\sqrt{15 \cdot 3} = 13{,}4$ Fuss dividirt, so ist die Anzahl der im Wasser gehenden Schaufeln $= \frac{13{,}4}{2{,}0} = 7$ beinahe. Weil wir nun bereits bei den unterschlächtigen Rädern gesehen haben, dass bei einer so grossen Anzahl der zu gleicher Zeit im Wasser gehenden Schaufeln die anstossende Wassermenge von der herbei fliessenden $a \cdot b \cdot c$ nicht merklich abweicht, so können wir das Bewegungsmoment mit Rücksicht auf die zu beiden Seiten abfliessende Wassermenge $= \frac{3}{4} \cdot 56{,}4\ a \cdot b \cdot c \left(\frac{c - v}{2g}\right) v$ setzen. Demnach ist die vortheilhafteste Geschwindigkeit $v = \frac{1}{2} c$ und das Bewegungsmoment $= \frac{3}{4} \cdot 56{,}4 \cdot 3\ b \cdot 6 \cdot \frac{36}{2 \cdot 62} = 3500$, woraus die nöthige Breite der Radschaufeln $b = 15{,}8$ Fuss folgt.

Um die Einrichtung des Gehwerkes für den ersten Fall, wo $N = 6$ ist, anzuordnen, haben wir die Geschwindigkeit des Wasserrades im Mittelpunkte der Schaufeln $v = \frac{1}{3} c = 2$ Fuss. Diese Gehwerke pflegen gewöhnlich mit einem Vorgelege versehen zu seyn. Setzen wir die Geschwindigkeit des Stirnrades $= v'$ und dessen Halbmesser $= B$, den Halbmesser des Drehlings, welcher dieselbe Geschwindigkeit hat $= D$, die Geschwindigkeit des Kammrades $= v''$ und dessen Halbmesser $= E$, den Halbmesser des Getriebes, welches wieder die Geschwindigkeit v'' hat $= F$, endlich die Geschwindigkeit des Mühlsteines am Orte des grössten Angriffes, nämlich in der Mitte, nach Seite 359 $= 12$ Fuss und den äussern Halbmesser des Mühlsteines nach Seite 372 für das Mahlquantum von 30 N. O. Metzen $= 31 \cdot \frac{1}{2} = 15{,}5$ Zoll, so verhält sich Fig. 14 und 15.
$2 : v' = R - \frac{1}{2} a : B$ und $v' : v'' = D : E$, endlich $v'' : 12 = F : 15{,}5 \cdot \frac{1}{2}$, demnach $2 : 12 = (R - \frac{1}{2} a) D \cdot F : B \cdot E \cdot 15{,}5 \cdot \frac{1}{2}$; hierinn ist $R - \frac{1}{2} a = 9 - 1{,}5$ Fuss $= 90$ Zoll; nehmen wir ferner $D = 9$ Zoll und $F = \frac{9}{2}$ Zoll an, so folgt $B \cdot E = \frac{2 \cdot 6 \cdot 90 \cdot 9 \cdot 9}{31} = 60 \cdot 47$; es kann demnach $B = 60$ Zoll und $E = 47$ Zoll angenommen werden.

VII. Kapitel.
Oberschlächtige Räder, Kropfräder.

§. 298.

Die unterschlächtigen und Schiffmühlen-Räder werden gewöhnlich nur an grössern Flüssen gebraucht, wo man nämlich eine grosse Wassermenge zu verwenden hat, und dasjenige, was dem Wasser an Gefälle und an Geschwindigkeit gebricht, sehr leicht durch grössere Schaufeln und hinlängliches Wasser ersetzen kann. In jedem Lande kann jedoch nur ein kleiner Theil der Bewohner von den Vortheilen der grössern Flüsse Gebrauch machen, während der grössere Theil derselben sich in Gebirgsgegenden befindet, wo das Wasser noch in mehrere kleine Bäche vertheilt ist. Da sonach in diesen Gegenden nur das Wasser aus kleinern Bächen zur Betreibung der Mühlen und andern Maschinen verwendet, dagegen aber die nöthige Triebkraft durch ein grösseres Gefälle ersetzt, und dem Wasser dadurch eine sehr grosse Geschwindigkeit gegeben werden kann, so kamen die gewerbsfleissigen Bewohner dieser Gegenden wohl sehr bald auf den Gedanken, das Wasser von oben auf die Schaufeln der Räder fallen zu lassen, damit auf solche Art das Wasser nicht bloss durch seine grössere Geschwindigkeit, sondern auch durch sein Gewicht wirken und die Triebkraft des einfallenden Wasserstrahls vermehren möchte. Diese Räder werden **oberschlächtige Räder** (*Roues à augets, Overshot Wheels*) genannt.

Fig. 1. Tab. 60. Die einfachste Art der oberschlächtigen Räder ist demnach jene, wo das Rad aus einer starken Welle besteht, in deren Umfang unmittelbar Schaufeln eingesetzt und beiderseits mit Kränzen versehen werden. Auf diese Räder, **Walzenräder** genannt, stürzt das Wasser gewöhnlich aus einem mehrere Fuss oberhalb derselben liegenden hölzernen Gerinne mit einer grossen Geschwindigkeit herab, wodurch den Rädern ebenfalls eine sehr grosse Geschwindigkeit beigebracht wird. Bei der Anlage dieser Räder hatte man daher hauptsächlich den Zweck vor Augen, durch eine möglichst einfache Vorrichtung eine sehr grosse Geschwindigkeit zu bewirken, wie diess z. B. bei der Betreibung kleinerer Mühlsteine, der Bretsägen, bei Löffelmühlen u. s. w. der Fall ist.

Fig. 2. Eine verbesserte Art dieser Räder ist jene, wo das nach der Art der unterschlächtigen Räder gebaute, zur Bewirkung einer grössern Kraft mit einem grössern Halbmesser versehene Rad inwendig mit einem Boden umgeben, das Mühlgerinne ebenfalls schief gelegt und das einfallende Wasser in der Nähe des Scheitels auf das Rad ge-

leitet wird. Weil aber das Wasser hierbei nur eine kurze Zeit auf den Schaufeln verweilet und sich sehr bald ausschüttet, so verfiel man wohl bald auf den Gedanken, die Schaufeln nicht wie bei unterschlächtigen Rädern in die Verlängerung des Halbmessers, sondern unter einem Winkel so einzusetzen, damit das Wasser zwischen die Schaufeln und den Boden des Radkranzes einfallen möge. Soll nun das Wasser lange im Rade bleiben, so muss der Winkel, welchen die Schaufeln mit der Peripherie machen, sehr klein seyn. Ist diess aber der Fall, so erreichen zuletzt die Schaufeln bei einer gegebenen Breite des Radkranzes den Boden nur auf grösserer Entfernung. Dadurch entsteht der Nachtheil, dass die Schaufeln m n, p t ··· einander zu nahe kommen und den Inhalt der Zellen verengen, indem die Schaufeln selbst einen grossen Theil des einfallenden Wassers verdrängen, demnach auch das Rad mit Holz überfüllt, und zu schwer wird. Fig. 3. Tab. 60.

Um diesem Nachtheile zu begegnen, hat man von der Schaufel m n den Theil o n, welcher in dem Wasser q p t steht, weggelassen, und eine andere Schaufel o q in die Oberfläche des Wassers p o q gestellt und eben so für die folgende auf gleiche Art die Schaufel r s eingesetzt, wodurch der Vortheil erhalten wird, dass durch die Entfernung des Theiles zwischen o und s der Inhalt des Wassers q p r s vergrössert und dass auch statt des längern Theiles o n nur die kürzere Schaufel o q nöthig ist, wodurch also sowohl dem Wasser ein grösserer Inhalt als auch dem Rade mehr Leichtigkeit verschafft wird und die Schaufeln nunmehr aus schmälern Bretern m o und o q zusammengesetzt werden können, wogegen die nöthige Breite m n aus einem Stück nicht überall zu finden ist. Fig. 4.

Aus diesen Gründen bedient man sich gegenwärtig allenthalben der gebrochenen Schaufeln. Es besteht nämlich eine jede Schaufel m o q aus zwei Theilen, wovon der obere Theil m o, p r, ··· die Stoss- oder Setzschaufel und o q, r s, ··· die Kropf- oder Riegelschaufel genannt wird; der zwischen zwei Schaufeln enthaltene Raum wird gewöhnlich eine Zelle genannt.

§. 299.

Bevor wir von der zweckmässigsten Bauart der Zellen eine Anleitung geben können, wollen wir vorläufig die Forderungen anführen, denen ihre Bauart entsprechen soll.

Es sollen nämlich 1tens: die Zellen so beschaffen seyn, dass sie das Wasser leicht, und ohne Hinderniss von oben aufnehmen, dasselbe bis zum niedrigsten Punkte des Rades aufbehalten, dort aber auch ganz ausschütten, ohne einen Theil des Wassers an der entgegengesetzten Seite mit in die Höhe zu nehmen. Man sieht bald ein, dass dieselben einfachen Mittel, welche der leichtern Aufnahme des Wassers von oben zuträglich sind, auch unterhalb das zu frühe Ausschütten befördern, dass also die Vermehrung der Wirkung an der obern Seite zugleich mit einer Verminderung an der untern Seite verbunden ist. Um eine grosse Wirkung hervor zu bringen, sollen sie

2tens: viel Wasser aufnehmen können, ohne dadurch mit Holz überladen und zu schwer zu werden. Macht man zu dieser Absicht die Entfernung der Schaufeln gross,

so wird das Rad zwar leicht, aber dasselbe erhält nur wenige Zellen, und kann demnach nicht mehr Wasser aufnehmen, als diese geringe Anzahl zu fassen vermag. Stellt man im Gegentheile die Schaufeln nahe zusammen, so erhält man viele Zellen, aber ihr Inhalt wird klein, das Rad wird mit Holz überladen und schwer, und für das Wasser bleibt abermals zu wenig Raum übrig.

3tens. Die Richtung des einfallenden Wasserstrahles muss mit der Richtung der Setzschaufeln genau übereinstimmen, weil das Wasser durch eine schiefere Richtung über das Rad hinweggeführt, durch eine zu seigere Richtung aber auf die rückwärtige Seite der Setzschaufeln fallen und einen der Bewegung des Rades entgegenstehenden Stoss bewirken würde. Ist nun der Winkel, den die Setzschaufeln mit der Peripherie des Rades machen, gross, so fällt das Wasser unterhalb zu früh aus den Zellen; ist aber dieser Winkel klein, so muss das Aufschlagwasser entweder auf einer grössern Tiefe vom Scheitel in die Zellen geleitet, oder nahe beim Scheitel mit einer grössern horizontalen Geschwindigkeit fortgetrieben, folglich mit einem höhern Wasserstand im Gerinne versehen werden. Es erhellet von selbst, dass beide Fälle zu einem grössern Verluste vom Gefälle führen.

4tens. Die Bestimmung der vortheilhaftesten Geschwindigkeit des Wassers unterliegt gleichen Schwierigkeiten. Denn zu einer grossen Geschwindigkeit ist ein grosses Gefälle des Gerinnes oder ein hoher Wasserstand vor der Schütze nothwendig, welche Höhe dem Durchmesser des Rades und dem wirksamen Gefälle nothwendig entgeht. Ist aber die Geschwindigkeit des einfallenden Wassers klein, und dagegen für die zweckmässigste Arbeit eine grössere Geschwindigkeit der Radschaufeln nothwendig, so kann das Aufschlagewasser nur erst dann auf die Schaufel wirken, nachdem es durch seinen Fall, oder durch Beschleunigung in den Zellen, folglich immer auf Kosten des vorhandenen Gefälles die Schaufeln eingeholt hat.

5tens. Nebst der vortheilhaftesten Höhe des Wasserstandes im Gerinne fordert noch der Ort und die Stellung der Schützen, wie auch der Ort, wo das Wasser in die Zellen fallen soll (wozu gewöhnlich die zweite oder dritte Zelle von oben vorgeschlagen wird) ihre eigene Bestimmung.

Alle diese Gegenstände sind genauer mathematischer Rechnungen fähig, woraus die Bedingnisse von selbst hervorgehen, unter welchen die Wirkung des oberschlächtigen Rades zu einem Maximum wird. Weil aber alle diese Gegenstände miteinander zusammenhängen und jeder nur dann seine vortheilhafteste Wirkung äussert, wenn auch alle übrigen ihre vollkommenste Grösse erhalten haben, wodurch also sechs bis sieben Maxima zu gleicher Zeit Statt finden müssen, welches nicht leicht bei einer andern Aufgabe der Fall ist; so erhellet von selbst, warum es bei allem Aufwande von Mühe und Kosten so schwer und aus blossen Versuchen beinahe unmöglich war, richtige allgemeine Regeln für die Anordnung der oberschlächtigen Wasserräder ausfindig zu machen. Uiberhaupt ist bekannt, dass Erfahrungen und Versuche zur umständlichern Kenntniss der Gegenstände zwar nothwendig, aber auch für sich selbst dunkel sind und nur zu einseitigen Resultaten führen, wenn sie nicht durch eine Theorie erklärt, und durch ihren Zusammenhang unter sich und mit andern bekannten Gegenständen deutlich gemacht werden.

Wir werden in dieser Abhandlung ersten s: den Bau der Zellen in Hinsicht auf Inhalt, Leichtigkeit der Anfüllung und Gewinnung einer grossen hydrostatischen Höhe betrachten, und hieraus die angemessenste Entfernung der Schaufeln, ihre Stellung und Anzahl ableiten. Dann werden wir zweitens: die Wirkung des Wassers in mechanischer Hinsicht, nämlich die Richtung des einfallenden Strahles, den Ort und die Stellung der Schützen, die nöthige Höhe des Wasserstandes im Gerinne, sammt der Geschwindigkeit und Fliehkraft des Wassers untersuchen, und hieraus die vortheilhafteste Eintheilung des Gefälles, und die angemessenste Grösse des Rades für jedes gegebene Gefälle zu bestimmen suchen.

§. 300.

Die gewöhnliche Bauart der oberschlächtigen Räder ist folgende: Bezeichnet A B die Höhe oder den äussern Durchmesser des Rades, so erhält dasselbe bei Fig. 1. grossen Rädern, die viel Wasser fassen sollen, 12 Zoll, bei kleinen 10 oder auch 9 Zoll Tab. 61. zur Breite des Kranzes AD, BE. Diese Breite theilt man in drei gleiche Theile, trägt von D bis f ein Drittheil auf und beschreibt mit dem Halbmesser f C aus dem Mittelpunkte C des Rades einen Kreis, welcher der Theilriss genannt wird. Man gibt nun dem Rade gewöhnlich 3 mal so viel Schaufeln, als der äussere Durchmesser desselben Fusse hat und theilt demnach den Theilriss in eben so viele gleiche Theile. Bezeichnet D den Durchmesser des Theilrisses und E die Entfernung einer Zelle von der andern im Theilrisse, so ist $3\,D : {}^{22}/_{7}\,D = 1 : E$, woraus $E = {}^{22}/_{21}$ Fuss folgt; wir können demnach die Entfernung einer Schaufel von der andern im Theilrisse mit 1 Fuss annehmen.

Die Richtung der Setzschaufeln wird gewöhnlich durch die Breite der Breter bestimmt, aus welchen man selbe verfertigt. Denn würde man sie breiter machen, so müsste man selbe aus zwei Bretern zusammensetzen, was mühsam und unhaltbar wäre. Man nimmt also die Breite des Bretes, welches gewöhnlich bei den 12 Zoll breiten Kränzen zu 16 Zoll und bei den 9 Zoll breiten Kränzen zu 12 Zoll angenommen wird, in den Zirkel, setzt den einen Fuss in den Punkt i des Theilrisses und schneidet mit dem andern in der Peripherie des Rades ein, wodurch die Richtung h i der Setzschaufeln erhalten wird, die auf solche Art einen Winkel von 30 Grad mit dem Theilrisse bilden.

Die Richtung der Kropfschaufeln bestimmt man auf eine doppelte Art: Entweder legt man die Kropfschaufel in die aus i nach dem Mittelpunkte des Rades gezogene gerade Linie i k, oder in die auf die Richtung der Stosschaufel m r senkrecht gezogene Linie m n (Fig. 2). Man befestigt endlich an dem innern Umfange D k c E der Kränze Breter, Fig. 2. welche die Zellen nach der Mitte des Rades schliessen und der Boden genannt werden.

§. 301.

Wir wollen nun diese Konstrukzion den früher angeführten Forderungen an ein oberschlächtiges Rad entgegenhalten, zu welchem Behufe wir, um diesen Gegenstand mit der nöthigen Deutlichkeit abzuhandeln, ein solches Rad von mittlerer Grösse in Fig. 1 Fig. 1. dargestellt haben. Der Durchmesser des Theilrisses beträgt hierbei 12 Fuss, die Breite des Radkranzes 9 Zoll, die Breite der nach der Richtung des Halbmessers liegenden Kropfschaufeln 3 Zoll, die Breite der Setzschaufeln 13 Zoll und der noch übrige Theil

Fig. 1. Tab. 61. des Radkranzes vom Theilrisse bis an die äussere Peripherie beträgt 6 Zoll; mithin bilden die Setzschaufeln mit dem Theilrisse sehr nahe einen Winkel von 30 Grad, die Anzahl der Schaufeln ist 36, demnach die Entfernung derselben beinahe 12,6 Zoll.

Wenn wir nach diesen Maassen den Inhalt der Zelle a c d e berechnen, wo nämlich a c in der Richtung des horizontalen Halbmessers liegt, so ist dieser Inhalt sehr nahe $= \left(\frac{ac + de}{2}\right) be = \left(\frac{9+3}{2}\right) 12{,}6 = 75{,}6$ Quad. Zoll. Wird dieser Inhalt $\left(\frac{ac + de}{2}\right) be$ mit der Entfernung b e dividirt, so findet man die mittlere Höhe des Wassers im Rade, wie hoch nämlich das Rad angefüllt wäre, wenn das Wasser über der ganzen Peripherie des Radbodens gleichförmig vertheilt wäre, und die Schaufeln zwischen dem Wasser gar keinen Raum einnähmen. Diese Bestimmung ist in der bekannten Preisschrift: *Enucleatio quaestionis, quomodo vis aquae ad molas circumagendas cum maximo lucro impendi possit? Auctore F. A. Euler, praemio ornato a societate regia scientiarum Goettingensi.* A. 1754 und seither in allen Lehrbüchern der Hydraulik bei der statischen Berechnung der oberschlächtigen Räder angenommen worden. Die Höhe des sogenannten wasserhaltenden Bogens ist daher $\frac{ac + de}{2} = \frac{ab + 2bc}{2} = \frac{ab}{2} + bc$; ist nun $ab = \frac{2}{3}\,ac$, so ist diese Höhe $= \frac{2}{3}\,ac$, das Rad ist also bis auf $\frac{2}{3}$ der Höhe des Kranzes angefüllt, oder man kann annehmen, dass der Boden des Rades auf eine Höhe von $\frac{2}{3}$ a c mit Wasser überfüllt ist.

Hiervon muss aber, wenn bloss nach der im Rade enthaltenen Wassermenge gefragt wird, der Inhalt der Kropfschaufel d e und Setzschaufel e a abgezogen werden. Nehmen wir nun für die Stärke der Breter $\frac{3}{4}$ Zoll an, so haben wir die Fläche $(3 + 13)\,\frac{3}{4} = 12$ Quad. Zoll; es bleibt demnach für das Wasser $75{,}6 - 12 = 63{,}6$ Quadr. Zoll Raum übrig. Eben so viel Wasser, als in dieser Zelle enthalten ist, ist auch in allen darüber liegenden Zellen vorhanden, wenn wir nämlich annehmen, dass von diesem Inhalte vom Scheitel bis zum horizontalen Halbmesser nichts ausfliesst.

Unterhalb des horizontalen Halbmessers fangen die so weit gefüllten Schaufeln an, ihr Wasser über die Setzschaufeln auszugiessen und dieses dauert so lange fort, bis die Setzschaufel in die horizontale Lage kommt und demnach kein Wasser mehr zurückzuhalten im Stande ist. Dieses geschieht auf der Entfernung v u oder 30 Grade vom tiefsten Punkte, weil der Winkel u C v dem Winkel q v p gleich ist, und dieser, wie oben gezeigt wurde, 30 Grad beträgt. Wir können demnach annehmen, dass der wasserhaltende Bogen nur bis zur Mitte des Bogens b v reiche, und weil $bv = 90 - 30 = 60$ Grad ist, so wird der wasserhaltende Bogen noch 30 Grad unter den horizontalen Halbmesser reichen. Demnach ist die Tiefe, wie weit das Wasser im Radkranze unter den horizontalen Halbmesser hinabreicht, dem halben Halbmesser C b gleich.

§. 302.

Diese Rechnungen geben nur die Querschnittsfläche des Wasserinhaltes, oder die vertikale Durchschnittsfläche des wasserhaltenden Bogens. Wird diese Fläche noch mit der Breite zwischen den Radkränzen multiplizirt, so ergibt sich der kubische Inhalt des Wassers, welchen das Rad aufzunehmen fähig ist. Man

sieht von selbst, dass man durch eine hinlängliche Entfernung der Radkränze die Wassermenge bis zu jeder verlangten Grösse vermehren könne und dadurch in Stand gesetzt werde, eine jede Last mit diesem Rade zu gewältigen. Da jedoch die Weite nicht übermässig vermehrt werden darf, so wird es noch darauf ankommen, sowohl die Breite der Radkränze, als auch die Länge des wasserhaltenden Bogens zu untersuchen, um davon gehörigen Gebrauch zu machen. Fig. 1. Tab. 61.

Wir haben bereits angeführt, dass einige Mechaniker die Breite der Radkränze auf 12 und mehr Zolle vergrössern. Hierbei ist aber zu bemerken, dass diese Vergrösserung immer mit einem Verluste am Gefälle verbunden sey; wenn nämlich das Gefälle und die Höhe, auf welcher das Wasser über dem Rade herbeigeführt wird, gegeben ist, so kann die Vergrösserung der Breite der Radkränze nur nach innen Statt finden, wodurch aber der Theilriss des Rades offenbar kleiner wird. Einige Hydrauliker haben zu derselben Absicht den Theilriss nicht auf ein Drittheil, sondern auf die Mitte des Radkranzes gesetzt und dadurch ebenfalls eine Vergrösserung des wasserhaltenden Bogens erhalten. Im ersten Falle beträgt nämlich die Höhe des wasserhaltentenden Bogens $bc + \frac{1}{2} ab = \frac{2}{3} ac = \frac{2}{3} b$, wo b die Höhe des Radkranzes ist; wird aber der Punkt b auf die Mitte gesetzt, so ist auf dieselbe Art die Höhe des wasserhaltenden Bogens $= bc + \frac{1}{2} ab = \frac{1}{2} b + \frac{1}{4} b = \frac{3}{4} b$. Die Vermehrung beträgt daher $\frac{1}{12} b$ oder den 12^{ten} Theil von der Breite des Radkranzes. Wir werden aber sehen, dass in diesem Falle der Zwischenraum zwischen den Setzschaufeln beinahe eben so viel kleiner wird, und wenn man hierbei die Dicke der Radschaufeln berücksichtigt, so würde dieser Inhalt nur bei einer sehr langsamen Bewegung des Rades mit Wasser angefüllt werden können.

Eine vortheilhaftere Anordnung gewährt die Verminderung des Winkels, welchen die Kropfschaufeln mit dem Theilrisse bilden. Es sey Fig. 3 der Winkel abf, welchen die Oberfläche des Wassers oder die Richtung der Kropfschaufel mit dem Theilrisse macht, $= \lambda$ und der Winkel aeb, welchen die Setzschaufel mit dem Theilrisse bildet $= \mu$. Setzen wir nun die Breite der Radkränze $b = ag$, dann $af = \frac{2}{3} b$ und $fg = \frac{1}{3} b$, so ist die Seite $ab = \frac{2b}{3 \sin\lambda}$ und $fb = \frac{2b \cdot \cos\lambda}{3 \sin\lambda}$, eben so ist $ae = \frac{2b}{3 \sin\mu}$ und $ef = \frac{2b \cdot \cos\mu}{3 \sin\mu}$, folglich ist $eb = \frac{2b}{3}\left(\frac{\cos\mu}{\sin\mu} - \frac{\cos\lambda}{\sin\lambda}\right) = \frac{2b}{3} \cdot \frac{\sin(\lambda - \mu)}{\sin\lambda . \sin\mu}$. Demnach ist der Flächeninhalt des Dreieckes $abe = \frac{eb . af}{2} = \frac{2b^2}{9} \cdot \frac{\sin(\lambda - \mu)}{\sin\lambda . \sin\mu}$ und der Inhalt $bcde = \frac{1}{3} b . eb = \frac{2}{9} b^2 \cdot \frac{\sin(\lambda - \mu)}{\sin\lambda . \sin\mu}$, folglich der Flächeninhalt von $abcdea = \frac{4}{9} b^2 \cdot \frac{\sin(\lambda - \mu)}{\sin\lambda . \sin\mu}$. Wird dieser Flächeninhalt mit eb dividirt, so erhalten wir die Höhe des wasserhaltenden Bogens $= \frac{2}{3} b$, also eben so gross als wir ihn bei der winkelrechten Stellung der Kropfschaufeln erhalten haben, und wir sehen hieraus, dass die Winkel λ und μ, welche die Kropf- und Setzschaufeln mit dem Theilrisse machen, auf die Höhe des wasserhaltenden Bogens keinen Einfluss haben. Aber bei dieser Stellung der Schaufeln wird das Wasser aus den Zellen erst auszufliessen anfangen, wenn die Richtung abc horizontal wird; dieses geschieht, wenn der Winkel $uCb = \lambda$ ist, und die Zellen haben ihr Wasser ganz Fig. 3.

verloren, wenn die Linie v p horizontal oder der Winkel u C v $= \mu$ wird; wir können demnach die gänzliche Entleerung auf die Mitte des Bogens b v in r setzen.

§. 303.

Fig. 3. Tab. 61. Beispiel. Es sey $\lambda = 60$ Grad und $\mu = 30$ Grad, so geht die Länge des wasserhaltenden Bogens bis auf die Tiefe von $90 - \lambda + \frac{\lambda - \mu}{2} = 90 - \left(\frac{\lambda + \mu}{2}\right) = 45$ Grad unter den horizontalen Halbmesser h C herab, wogegen wir bei der winkelrechten Stellung der Kropfschaufeln nur 30 Grad gefunden haben. Es gibt demnach der wasserhaltende Bogen in dem gegenwärtigen Falle eine Wassersäule unter dem horizontalen Halbmesser h C von der Höhe R . Sin 45 $= 0{,}707$ R, wogegen für den ersten Fall diese Höhe nur $0{,}5$ R betragen hat. Die Vergrösserung dieser Säule ist demnach $\frac{1}{5}$ R.

Wir müssen nun noch die Länge der Setzschaufel a e und die Länge der Kropfschaufel e d, dann die Anzahl der Zellen suchen, welche das Rad in diesem Falle erhalten muss. Wir haben bereits $b\,e = \frac{2\,b\,.\,\text{Sin}\,(\lambda - \mu)}{3\,\text{Sin}\,\lambda\,.\,\text{Sin}\,\mu}$ gefunden; setzen wir nun, so wie es hier der Fall ist $\lambda = 2\,\mu$, so ist $b\,e = \frac{2\,b}{3\,\text{Sin.}\,\lambda}$, folglich, wenn $\lambda = 60$ Grad, daher Sin $\lambda = \frac{7}{8}$ und b $= 9$ Zoll gesetzt wird, $b\,e = \frac{6\,.\,8}{7}$ Zoll $= \frac{4}{7}$ Fuss. Die Peripherie des Rades, wenn der Durchmesser 2 R desselben in Fussmass angenommen wird, ist $\frac{22}{7}\,.\,2\,R$; dividiren wir diess mit der Entfernung b e $= \frac{4}{7}$ Fuss, so ergibt sich die Anzahl der Zellen $= \frac{22}{7}\,.\,2\,R\,.\,\frac{7}{4} = 11\,R$. Die Anzahl der Theilpunkte ist daher 11 mal so gross als der Halbmesser des Theilrisses Fusse hat. In unserm Falle war R $= 6$ Fuss, demnach ist die Anzahl der Theilungspunkte oder die Anzahl der Zellen $= 11\,.\,6 = 66$.

Die Länge der Setzschaufeln war $a\,e = \frac{2\,b}{3\,\text{Sin}\,\mu}$, weil aber in unserm Falle $\mu = 30$ Grad ist, so ist $a\,e = \frac{2}{3}\,.\,9\,.\,2 = 12$ Zoll, also eben so gross als im ersten Falle angenommen wurde.

Die Länge der Kropfschaufeln b c ist offenbar $= \frac{b}{3\,\text{Sin}\,\lambda}$ und weil $\lambda = 60$ Grad, so ist $b\,c = \frac{9}{3}\,.\,\frac{8}{7} = 3\frac{3}{7}$ Zoll, also nur um $\frac{3}{7}$ oder beiläufig $\frac{1}{2}$ Zoll grösser als im ersten Falle.

Diese Bauart oberschlächtiger Räder kann demnach in praktischer Hinsicht gar keinem Anstande unterliegen, weil die Grösse der Setz- und Kropfschaufeln, wie gross immer der Halbmesser des Rades angenommen werden mag, dieselbe bleibt, und nur die Anzahl der Schaufeln hier 11 mal und dort 6 mal so gross, als der Halbmesser Fusse hat, angenommen werden muss.

Die Oeffnung b i zwischen zwei Zellen ist offenbar $= a\,b\,.\,\text{Sin}\,b\,a\,i = \frac{2\,b\,.\,\text{Sin}\,(\lambda - \mu)}{3\,\text{Sin}\,\lambda}$, oder wenn wir $\lambda = 2\,\mu$ setzen, so ist $b\,i = \frac{2\,b\,.\,\text{Sin}\,\mu}{3\,\text{Sin}\,2\,\mu} = \frac{b}{3\,\text{Cos}\,\mu}$, folglich weil $\mu = 30$ Grad, ist $b\,i = 3\,.\,\frac{8}{7} = 3\frac{3}{7}$ Zoll.

Man könnte zwar durch eine noch grössere Verminderung der Winkel λ und μ den wasserhaltenden Bogen noch mehr verlängern, aber dann würden die Maasse a e und b c viel grösser, dagegen b e und b i kleiner, folglich die Anzahl der Schaufeln noch mehr vergrössert und die Oeffnung für den Zufluss derselben vermindert werden. Das letzte wäre vorzüglich bei hölzernen Schaufeln der Fall, weil durch die nothwendige Dicke dieser Schaufeln die Grösse b i noch mehr vermindert und man sehr bald dahin kommen würde, dass sich die Schaufeln ganz schliessen. Fig. 3. Tab. 61.

§. 304.

Wir haben bereits oben gezeigt, dass zur Berechnung der Wassermenge, die das Rad aufzunehmen fähig ist, von der Fläche a c d e der Flächeninhalt der Setz- und Kropfschaufel abgezogen werden müsse. Hieraus folgt, dass die Schaufeln selbst so dünne gemacht werden sollen, als es nur die nöthige Festigkeit erlaubt. Dieser Zweck wird wesentlich befördert, wenn die Setz- und Riegelschaufeln von Metallblechen gemacht werden. In dieser Hinsicht verfertigt man bereits seit mehreren Jahren in England solche Wasserräder von Eisen, wobei die Schaufeln von gewalztem Blech, die Radkränze von eben solchem Blech oder Gussplatten, die Radarme oder Speichen von Stabeisen und die Welle nebst den sie umgebenden Kränzen zur Einsetzung der Speichen von Gusseisen sind. Bei andern Rädern sind Wellen, Speichen und Radkränze von Eisen, die Schaufeln aber von schwachen hölzernen Bretern, endlich macht man zuweilen die Wellen von Holz und umgibt sie mit gusseisernen Kränzen, an welche schmiedeiserne Speichen und auf die letztern entweder eiserne oder hölzerne Radkränze und Schaufeln befestigt werden. Die vorzüglichsten eisernen Räder dieser Art werden in der Maschinenfabrik der Herren *Fairbairn et Lillie, Engine makers et Engineers in Manchester, Canal street*, Nro. 122 verfertigt. Im September 1829, als der Herausgeber dieses Werkes die Fabrike besuchte, war daselbst ein ganz aus Eisen hergestelltes oberschlächtiges Rad verfertigt worden; dasselbe hatte einen Durchmesser von 60 Fuss, 12 Fuss Breite und war für einen Fall des Wassers von 57 Fuss hergestellt. Die Kraft dieses Rades war 120 Pferden gleich angeschlagen; dasselbe kostete loco *Manchester* 2400 *liv. Sterling*, und hatte ein Totalgewicht von 60 Tonnen oder 1089 N. Oe. Zentner. Aus dieser und einigen andern englischen Maschinen-Fabriken wurden in den letztern Jahren mehrere solche Räder nach Deutschland und vorzüglich in die Schweiz gesendet. In *Zürich* und dessen Umgebung waren im Jahre 1829 bereits gegen 20 solche eiserne Wasserräder aufgestellt, deren Vortheile man vorzüglich bei Kropfgerinnen sehr gross fand. Die vortrefflich eingerichtete Baumwoll-Spinnfabrike der Herren *Escher, Wyss et Comp. in Zürich* wird durch zwei unterschlächtige Wasserräder betrieben, deren Wellen, Speichen und Radkränze von Eisen, die Schaufeln aber von Holz sind. Diese Räder liegen an der *Limat* und werden durch eine Druckhöhe von 35 Zoll betrieben; sie haben zusammen eine Breite von 30 Fuss, nämlich jedes 15 Fuss, die Schaufeln sind 30 Zoll hoch und stehen senkrecht auf der Peripherie des Rades; beide Räder betreiben die, unter der einsichtsvollen Leitung der Herren *Escher* Vater und Sohn, stehende Fabrike mit 12600 Spindeln sammt allen zugehörigen Maschi-

nen. Andere Räder von gleicher Konstrukzion sind in Getreidemühlen, Bretsägen und andern Fabriken in und um *Zürich* aufgestellt.

In Frankreich wurden eiserne Wasserräder zuerst in der Fabrike von *Ryssler*, *Dixon* et Comp. zu *Cernay* im Elsass verfertigt. Im Frühjahr 1829 wurde ein solches Rad bei *Lucern* in dem Kupferwalzwerke, welches von Herrn *Nikolaus Mayer* angelegt wurde, zur Zeit, als der Herausgeber dieses die Anstalt besuchte, aufgestellt. Dieses Rad war oberschlächtig, hatte 30 Fuss im Durchmesser, 8 Fuss Breite und war an einer Welle von Eichenholz befestigt. Das Gewicht desselben betrug 600 Zentner, wovon das gewalzte Blech für die Schaufeln 120 Zentner ausmachte. Der Preiss dieses Rades war 42000 franz. Franken oder 16800 Conv. Gulden.

In der 4ten Auflage des Werkes von *Hachette*, *Traité des Machines* befindet sich die Beschreibung und Zeichnung eines solchen Rades, welches in England erbaut und zu *Wässerling* im Elsass, *departement du haut Rhin*, *Vallée St. Amarin* bei einer Spinnerei aufgestellt wurde. Diese Zeichnung ist abermals in dem Werke von Herrn *Egen* aufgenommen worden und erscheint auf der 60ten Tafel Fig. 5 im Grundrisse, Fig. 6 aber in der Vorderansicht und dem Durchschnitte. Der äussere Durchmesser dieses Rades ist 22,9 Fuss, seine Breite im Lichten misst 16,9 Fuss, die Radkränze sind 15 Zoll hoch, die Anzahl der Zellen beträgt 70. Die Entfernung der Riegelschaufeln beträgt demnach 1 Fuss. Die Kropf- und Riegelschaufeln bestehen aus einem Stück gewalzten Blech, welches so gebogen ist, dass der Bug auf die Mitte des Kranzes fällt, demnach unserer Bezeichnung zu Folge der Theilriss in der Mitte des Kranzes angenommen werden kann. Die Stellung der Setzschaufeln bildet mit der äussern Peripherie einen Winkel von beinahe 26 Grad, die Riegelschaufeln liegen in der Richtung des Halbmessers.

Fig. 5 und 6. Tab. 60.

Durch diese Bauart können die Zellen zwar sehr viel Wasser aufnehmen, da jedoch die Entfernung der Setzschaufeln von einander nur beiläufig den dritten Theil von der Entfernung der Kropfschaufeln oder 4 Zoll beträgt, so würde, wenn die Zellen sich ganz mit Wasser anfüllen sollten, die Geschwindigkeit des einfallenden Wassers 3 mal so gross seyn müssen, als die Geschwindigkeit des Rades oder der Kropfschaufeln und dann würde der Punkt der gänzlichen Entleerung auf den Winkel von $90 - 26 = 64$ Grad fallen. Es könnte demnach unter der Mitte des Rades nur eine Wassersäule von 32 Grad Bogenlänge vorhanden seyn, und daher würde die Hälfte des Halbmessers der Wirksamkeit des Rades entgehen. Zur Beseitigung dieser Nachtheile bemerkt Herr *Egen* (Seite 194 seines Werkes) dass dieses Rad nur mit dem sechsten Theile des Zelleninhaltes mit Wasser gefüllt werde, wobei aber der Grund so breiter Radkränze und eines so grossen Inhaltes der Zellen unbeantwortet bleibt. Da unsere Zellen nach der früher angeführten Theorie zwei Drittheile von der Breite des Radkranzes füllen können, so erhellet, dass man für dieselbe Wirkung bei dem Rade in *Wässerling* mit der Hälfte oder höchstens zwei Drittel der Breite der Radkränze nach unserer Bauart auslangen konnte. Hätte nämlich der Kranz bei diesem Rade statt 15 Zoll bloss 9 Zoll Höhe erhalten, so würde man oben $15 - 9 = 6$ und eben so unten $15 - 9 = 6$ Zoll, demnach zusammen 12 Zoll am Hebelsarme des Rades und am wirk-

samen Gefälle gewonnen haben, welches selbst für dieses Rad bei seinem bedeutenden Durchmesser nicht gering zu achten ist. Auch wäre noch zu bemerken, dass durch das ungeheure Gewicht des Rades die Frikzion in den Zapfenlagern sehr vermehrt und dadurch der wirksamen Kraft des Wassers ein bedeutender Theil entzogen wird. Wir glauben demnach, dass man die früher vorgetragenen Grundsätze auch bei dem Baue solcher eiserner Räder mit Vortheil gebrauchen dürfte. Fig. 5 und 6. Tab. 60.

Uibrigens sind die Kränze und die Welle dieses Rades von Gusseisen, die Arme aber von Schmiedeeisen. Die Welle ist so geformt wie es der Grundriss Fig. 5 in punktirten Linien darstellt, woraus man ersieht, dass gegen beide Ende derselben Scheiben angegossen sind, an deren jeder 20 Arme durch Schrauben befestigt wurden. Davon stehen 10 mit s bezeichnet senkrecht und stützen die Radkränze an ihrem Umfange, 10 andere mit m bezeichnet stehen schräge und vereinigen sich paarweise in der Mitte unter dem Radkranze, um auf diese Art die konzentrische Bewegung des Rades sicher zu stellen.

Das Wasser strömt auf dieses Rad durch ein eisernes Gitter a, dessen flache Schienen den Strahlen gerade die Richtung geben, damit das Wasser genau parallel mit den Setzschaufeln und demnach ohne einen nachtheiligen Anstoss zu veranlassen, in die Zellen gelange. Das Zuleitungsgerinne und die Schütze sind ebenfalls von Gusseisen und die Schütze wird durch das gezähnte Rad b so gestellt, dass das Wasser nicht unter, sondern bloss über derselben hinweg fliesst. Das Gewicht der Schütze wird durch das Gegengewicht c aufgewogen. Endlich ist bei d ein Gitter angebracht, um fremde Körper zurückzuhalten. Welcher Vortheil dadurch entsteht, dass das Gerinne nicht über der Mitte das Rades steht, sondern seitwärts angebracht ist, werden wir bei der nachfolgenden Theorie näher untersuchen.

Wir glauben jedoch bereits jetzt schon auf die Vortheile aufmerksam zu machen, welche die neuere mit dem Baue eiserner Räder gewöhnlich verbundene englische Konstrukzion dadurch gewährt, dass der Radkranz eines solchen oberschlächtigen, oder auch unterschlächtigen Rades mit angegossenen Zähnen versehen ist, welche unmittelbar in das Getriebe A eingreifen. Diese Zähne sind bei manchen Rädern gegen die innere Peripherie des Radkranzes, wie Fig. 6 bei dem Rade in *Wässerling*, bei andern englischen Rädern aber am äussersten Umfange des Radkranzes angegossen. Im ersten Falle muss die Welle des gezähnten Rades A auf einem seitwärts des Wasserrades in der Höhe angebrachten Zapfenlager B und auf einem zweiten innerhalb des Mühlgebäudes vorhandenen Lager ruhen, so dass das Rad A über das erste Lager B hervorsteht; im zweiten Falle kann das erste Lager sich über dem Wasserrade befinden, wornach das gezähnte Rad A zwischen seinen beiden Lagern befestigt ist. In beiden Fällen ist es einleuchtend, dass die Anzahl der Umdrehungen des Rades A selbst bei einer langsamen Bewegung des Wasserrades sehr bedeutend werden könne. Wenn z. B. der Halbmesser des Rades A = 9 Zoll und der Halbmesser oder die Entfernung der am Umfange des Wasserrades angegossenen Zähne 9 Fuss beträgt, so wird auch das Rad A in derselben Zeit 12 Umläufe beschreiben, in welcher das Wasserrad sich einmal herumdreht. Wir haben bei der Beschreibung der unterschlächtigen Mahlmühlen Seite 377 gesehen, dass man zur Bewirkung der erforderlichen Geschwindigkeit des Mühlsteines ein Vorgelege und demnach immer 3 Wellen benöthigt. An der ersten horizontalen Welle befindet sich nämlich das Wasserrad und das

Stirnrad, an der zweiten horizontalen Welle der Drehling und das Kammrad, an der dritten Welle endlich steckt das vertikal stehende Getriebe mit dem oben befestigten Läufer. Weil man nun durch die vorangeführte englische Konstrukzion dem gezähnten Rade A sogleich die gehörige Geschwindigkeit geben kann, so wird bei dieser Einrichtung das Stirnrad ganz erspart und die Welle des Wasserrades wird viel kürzer und braucht bei weitem nicht jene Stärke zu besitzen, welche zur Anbringung der Arme für die Stirnräder nöthig ist. In dieser Hinsicht wäre daher diese Konstrukzion allgemein zu empfehlen, und sie würde auch bei hölzernen Rädern anzuwenden seyn, wenn dieselben einen vollkommen konzentrischen Gang haben.

Welchen Vortheil der Bau eiserner Räder bei Kropfgerinnen verursache, werden wir bei der Theorie derselben noch näher kennen lernen.

§. 305.

Die bisherigen Betrachtungen über den Bau der Zellen betreffen hauptsächlich den Inhalt des Wassers, welches die Zellen aufzunehmen vermögen, und zugleich den Ort wo das Wasser aus den Zellen ausfliesst und seine Wirksamkeit endet. Es ist nun noch übrig, dasselbe für den Einfluss, wo nämlich die Wirksamkeit des Wassers anfängt, und dann die Grösse der gesammten Wirksamkeit des Wassers in allen Zellen vom Einflusse bis zum Ausflusse zu bestimmen.

Fig. 4. Tab. 61. Wir haben bereits oben gezeigt, dass in jeder Zelle von beiden Seiten des Theilrisses gleiche Wassermengen sich vorfinden und dass man in dieser Hinsicht das gesammte Wasser als eine angefüllte konzentrische Ringfläche betrachten könne, in deren Mitte sich der Theilriss befindet. Wenn wir nun diese Ringfläche in mehrere einzelne Elemente $mm'n'n$, $nn'o'o$, $oo'p'p\cdots$ zerlegen und die Breite des Rades zwischen den Kränzen $= B$ setzen, so ist der Inhalt eines jeden Wasserelementes $= mm'.ab.B$ und das Gewicht desselben ist, wenn alle Maasse in N. Oe. Fussen verstanden werden $= 56{,}4.mm'.ab.B$. Ziehen wir aus der Mitte v des Elementes ab die senkrechte vw, so ist das statische Moment dieses Elementes $= 56{,}4 . mm' . ab . B . Cw$. Ziehen wir ferner aus den Punkten a und b die horizontalen Linien aa' und bb' und auf diese die winkelrechte bt, so ist das Dreieck abt dem Dreiecke vCw ähnlich, und wir erhalten $ab:bt = Cv:Cw$, folglich ist das Produkt $ab.Cw = bt.Cv = a'b'.CA$, demnach ist das statische Moment des obersten Elementes, wenn dieser Werth substituirt wird $= 56{,}4 . mm' . B . a'b' . CA$. Auf gleiche Art ist für das nächstfolgende Element $nn'o'o$ das statische Moment $= 56{,}4.nn'.B.b'c'.CA$, u. s. w. Hieraus sieht man von selbst, dass die Summe der statischen Momente aller Elemente des Wasserbogens von a bis A $= 56{,}4.MN.B.a'A.CA$ sey. Auf gleiche Art ist für den untern Bogen von A bis zum Ausflusse u, die Summe aller Momente $= 56{,}4.MN.B.Au'.CA$; demnach ist das statische Moment für den angefüllten Radbogen von a bis u $= 56{,}4.MN.B.a'u'.CA$ oder dem Gewichte eines Wasserprisma gleich, welches die Querschnittsfläche MN.B des waserhaltenden Bogens zur Basis und den lothrechten Abstand zwischen dem Anfange und dem Ende des wasserhaltenden Bogens $a'u'$ zur Höhe, endlich zum Hebelsarme den Halbmesser des Theilrisses hat. Die Wirksamkeit eines oberschlächtigen Rades

ist also um so grösser, je grösser die Querschnittsfläche des wasserhaltenden Bogens und je grösser die lothrechte Höhe a′ u′ vom Einflusse bis zum Ausflusse des Wassers ist.

§. 306.

Da wir zur Vermehrung der Höhe A u′ bereits das erforderliche bemerkt haben, so kommen wir nunmehr zu den nöthigen Betrachtungen über den Einfluss des Wassers. Weil aber das oberschlächtige Rad nicht bloss durch das Gewicht des Wassers, sondern auch durch den Stoss des einfallenden Wasserstrahles bewegt wird, so müssen wir diesen Gegenstand allgemeiner und zwar in dieser doppelten Hinsicht behandeln.

Es sey PLQJ das Querprofil des Wassers, welches auf dem Gerinneboden zur Oeffnung J, durch welche das Wasser auf das Rad fällt, zugeleitet wird und JL sey die Schütze. Die Höhe des Wasserstandes im Gerinne über der Mitte der Oeffnung sey KH = h; die Höhe von der Mitte der Schützenöffnung bis zum Theilriss sey HA = a. Fig. 5. Tab. 61.

Es sey D der Punkt, wo der Wasserstrahl in den Theilriss einfällt; man ziehe durch den Punkt D die horizontale DB und setze die Höhe AB = z, den Winkel vom Scheitel A bis D, wo der Wasserstrahl in den Theilriss einfällt ACD = w; den Winkel, welchen der ausfliessende Wasserstrahl mit dem Boden des Gerinnes macht, TJi = ν; den Halbmesser des Theilrisses AC = R, die bekannte Fallhöhe der schweren Körper in der ersten Sekunde = g, endlich die Wassermenge, welche in jeder Sekunde unter der Schütze ausfliesst, und in die Zellen des Rades fällt = M.

Wir haben oben bei dem Ausflusse durch Oeffnungen gezeigt, dass die Geschwindigkeit, mit welcher das ausströmende Wasser winkelrecht auf die Fläche der Schütze JL ausfliesst $= 2\sqrt{g \cdot h}$ ist. Diese Geschwindigkeit Ji lässt sich in die horizontale $JT = \text{Cos}\,\nu \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ und in die lothrechte $JU = \text{Sin}\,\nu \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ zerlegen.

Die Richtung des austretenden Wassers Ji wird nach seinem Austritte aus der Oeffnung, wie wir bereits an mehreren Orten gezeigt haben, in die parabolische Linie JD umgebogen, wobei die horizontale Geschwindigkeit nicht geändert, aber die senkrechte durch die Schwerkraft beschleunigt wird. Die Geschwindigkeit in D nach der Richtung des Strahles Df ist nämlich $= 2\sqrt{g \cdot KB} = 2\sqrt{g(h + a + z)}$. Weil aber die horizontale Geschwindigkeit durch die Beschleunigung nicht vermehrt wird, so wollen wir aus D die horizontale Linie $DE = JT = \text{Cos}\,\nu \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ ziehen. Aus diesen beiden Geschwindigkeiten lässt sich nun der Winkel EDf finden, den die Richtung des Strahles in D mit der Horizontallinie macht, es ist nämlich

$\text{Cos}\,EDf = \frac{DE}{Df} = \text{Cos}\,\nu \sqrt{\frac{h}{h + a + z}}$. Es leuchtet von selbst ein, dass die Richtung des einfallenden Wassers zur Richtung der Setzschaufeln parallel seyn, folglich mit dem Theilrisse AD denselben Winkel machen müsse, den wir oben μ genannt haben. Setzen wir zu diesem Winkel den Winkel ADB, den nämlich der Theilriss mit der Horizontalen BD macht, welcher auch dem Winkel ACD = w ist, noch hinzu, so haben wir $\mu + w = EDf$, folglich ist $\text{Cos}\,(\mu + w) = \text{Cos}\,\nu \sqrt{\frac{h}{h + a + z}}$. Daraus folgt die Höhe des Wasserstandes im Gerinne $h = (a + z) \cdot \frac{\text{Cos}^2(\mu + w)}{\text{Cos}^2\nu - \text{Cos}^2(\mu + w)}$.

Fig. 4 und 5. Tab. 61. Die Bewegung des Wassers nach der Richtung D f lässt sich abermals in die zwei Theile D F nach der Richtung der Peripherie und in D d nach der Richtung des Halbmessers zerlegen. Die erste D F liegt in der Richtung des Theilrisses und da die mittlere D f in der Richtung der Setzschaufeln liegt, so machen sie mit einander den Winkel $\mu = f D F$. Demnach ist die Geschwindigkeit nach der Richtung des Theilrisses, nach welcher sich nämlich das Rad bewegt, $D F = D f . \text{Cos}\, \mu = \text{Cos}\, \mu . 2 \sqrt{g (h + a + z)}$, die wir gleich c setzen wollen; die zweite D d liegt in der Richtung des Halbmessers und wird demnach von der Achse der Welle aufgehalten und entfällt in dieser Hinsicht aus der Rechnung für den Wasserstoss. Bewegt sich nun das Rad langsamer oder mit einer kleinern Geschwindigkeit als c, so entsteht ein Wasserstoss, dessen Grösse aus der Gleichung $56{,}4\ M \left(\frac{c - v}{2 g}\right)$ bestimmt wird, wo nämlich M die in einer Sekunde in die Zellen des Rades fliessende Wassermenge und v die Geschwindigkeit des Rades bezeichnet; das statische Moment dieses Stosses ist $= 56{,}4\ M \left(\frac{c - v}{2 g}\right) R$, hierzu muss aber noch das statische Moment des wasserhaltenden Bogens addirt werden. Zu dieser Absicht wollen wir die Querschnittsfläche des wasserhaltenden Bogens $= M N \cdot B$ mit f bezeichnen. Weil wir aber den Raum, den die Querschnittsfläche m m′ in einer Sekunde beschreibt v nennen, so ist M offenbar $= f \cdot v$, also $f = \frac{M}{v}$. Ferner ist die Höhe a′ A offenbar $= B C = R \cdot \text{Cos}\, w$ und die untere Höhe A u′ des wasserhaltenden Bogens ist auf gleiche Art $= R \cdot \text{Cos} \left(\frac{\lambda + \mu}{2}\right)$; mithin ist das statische Moment des wasserhaltenden Bogens $= 56{,}4 \cdot \frac{M}{v} \cdot R \left\{R \cdot \text{Cos}\, w + R \cdot \text{Cos} \left(\frac{\lambda + \mu}{2}\right)\right\}$. Wird nun dieses zu dem statischen Momente des Rades addirt, so erhalten wir das gesammte Moment $= 56{,}4\ M . R \left(\frac{c - v}{2 g} + \frac{R \cdot \text{Cos}\, w}{v} + \frac{R \cdot \text{Cos}\, {}^1\!/_2 (\lambda + \mu)}{v}\right)$. Wir haben aber bereits bei der Anwendung der thierischen Kräfte, bei dem Wasserstosse an unterschlächtige Räder und an andern Orten der Mechanik gezeigt, dass der Effekt oder die in einer bestimmten Zeit geleistete Arbeit dem Produkte aus der Kraft in die Geschwindigkeit v des bewegten Körpers gleich sey. Wir erhalten demnach den Effekt in einer Sekunde $= 56{,}4\ M \left(\frac{(c - v) v}{2 g} + R \cdot \text{Cos}\, w + R \cdot \text{Cos}\, {}^1\!/_2 (\lambda + \mu)\right)$. Wenn nun R, w, λ und μ gegeben sind, so ist der Effekt am grössten, wenn die Geschwindigkeit des Rades $v = {}^1\!/_2\, c$ gemacht wird; dieser Effekt ist demnach $= 56{,}4\ M \left(\frac{c^2}{2 \cdot 4 g} + R \cdot \text{Cos}\, w + R \cdot \text{Cos}\, {}^1\!/_2 (\lambda + \mu)\right)$. Wir sehen, dass der Effekt nebst der Wassermenge M auch von den Höhen $\frac{c^2}{4 g}$, $R . \text{Cos}\, w$ und $R . \text{Cos}\, {}^1\!/_2 (\lambda + \mu)$ abhängt. Das Wasser wäre am vollkommensten verwendet, wenn diese Höhe der ganzen Gefällshöhe vom Oberwasser bis zum Unterwasser K Y gleich seyn könnte. Diese ganze Höhe K Y ist $= K H + H A + A W + W Y = h + a + 2 R + a$, wenn nämlich für das untere Freihängen des Rades bis zum Theilrisse, $W Y = H A = a$ angenommen wird. Ziehen wir von diesen

Grössen die vorigen ab, so gibt uns der Unterschied den **Verlust am Gefälle** $= h + a + 2R + a - \frac{c^2}{2 \cdot 4g} - R \cdot \text{Cos } w - R \cdot \text{Cos } \frac{1}{2}(\lambda + \mu)$. Es muss also dafür gesorgt werden, dass dieser Verlust so klein als möglich gemacht werde. Nun ist aber $R - R \cdot \text{Cos } w = z$, folglich ist der Verlust am Gefälle auch $= h + a + z - \frac{c^2}{2 \cdot 4g} + R\left(1 - \text{Cos } \frac{1}{2}(\lambda + \mu)\right) + a$ und weil $\frac{c^2}{2 \cdot 4g} = \text{Cos}^2 \mu \left(\frac{h + a + z}{2}\right)$, so ist der Verlust am Gefälle Fig. 5. Tab. 61.

$= (h + a + z)\left(1 - \frac{\text{Cos}^2 \mu}{2}\right) + R\left(1 - \text{Cos } \frac{1}{2}(\lambda + \mu)\right) + a$. Diesen Verlust am Gefälle wollen wir in zwei Theilen behandeln, wovon der erste $(h + a + z)\left(1 - \frac{\text{Cos}^2 \mu}{2}\right)$ durch Grössen bestimmt wird, die bei dem Einflusse zu berücksichtigen sind, und der zweite $R\left(1 - \text{Cos } \frac{1}{2}(\lambda + \mu)\right) + a$ den Abgang des Gefälles für die untere Wassersäule betrifft. Bei dem ersten Theile wird der Faktor $1 - \frac{1}{2} \text{Cos}^2 \mu$ durch die Stellung der Setzschaufeln bestimmt, diesen müssen wir also als gegeben annehmen; bei dem zweiten Faktor wollen wir zuerst die Grösse h oder die Höhe des Wasserstandes im Gerinne betrachten. Oben war $h = \frac{(a + z)\text{Cos}^2(\mu + w)}{\text{Cos}^2 \nu - \text{Cos}^2(\mu + w)}$. Soll nun diese Höhe klein werden, so muss im Nenner $\text{Cos}^2 \nu$ möglichst gross, folglich $\nu = 0$ gesetzt werden oder **die Stellung der Schütze J L muss lothrecht seyn**; in diesem Falle erhalten wir $h = \frac{(a + z)\text{Cos}^2(\mu + w)}{\text{Sin}^2(\mu + w)}$. Wird nun dieser Werth in $h + a + z$ gesetzt, so erhalten wir die Höhe von der Oberfläche des Wassers im Gerinne bis zum Orte, wo der Strahl in D einfällt, $KB = h + a + z = \frac{a + z}{\text{Sin}^2(\mu + w)} = \frac{a + R - R \cdot \text{Cos } w}{\text{Sin}^2(\mu + w)}$. Diese wird ein Maximum, *) wenn $R \cdot \text{Sin } w \cdot \text{tang}(\mu + w) = 2(a + R - R \cdot \text{Cos } w)$ ist.

§. 307.

Da der Wasserstrahl bei seinem Ausflusse aus der Oeffnung J wegen dem lothrechten Stande der Schütze die horizontale Richtung haben muss, so ist ersichtlich, dass der parabolische Bogen nur durch die horizontale Geschwindigkeit $2\sqrt{g \cdot h}$ und durch den Fall der schweren Körper von der Höhe $a + z$ bestimmt werde; demnach ist die Zeit, in welcher die Höhe H B zurückgelegt wird, $t = \sqrt{\frac{a + z}{g}}$. Weil nun aber der horizontale Raum J S von J bis zur senkrechten Linie durch D in derselben Zeit mit der Geschwindigkeit $2\sqrt{g \cdot h}$ beschrieben wird, so ist $JS = 2\sqrt{g \cdot h} \cdot \sqrt{\frac{a + z}{g}} = 2\sqrt{(a + z)h}$.

*) Der Differenzialkoeffizient dieser Grösse ist $\frac{R \cdot \text{Sin } w}{a + R - R \cdot \text{Cos } w} - \frac{2\,\text{Cos}(\mu + w)}{\text{Sin}(\mu + w)}$. Setzen wir diesen $= 0$, so folgt hieraus $\text{tang}(\mu + w) = \frac{2(a + R - R \cdot \text{Cos } w)}{R \cdot \text{Sin } w} = \frac{2(a + z)}{R \cdot \text{Sin } w}$.

Fig. 5. Tab. 61. Setzen wir nun an die Stelle von h seinen oben gefundenen Werth $\frac{a+z}{tang^2(\mu+w)}$, so erhalten wir den horizontalen Raum $JS = \frac{2(a+z)}{tang(\mu+w)}$. Substituiren wir weiters für $tang(\mu+w)$ den gefundenen Werth $\frac{2(a+z)}{R \cdot Sin\, w}$, so ergibt sich $JS = R \cdot Sin\, w$, also muss die Entfernung J S gerade so gross seyn als B D, folglich muss die Schütze lothrecht über dem Mittelpunkte des Rades stehen, und das Gerinne, wodurch das Wasser in die Zellen des Rades geleitet wird, in derselben lothrechten Linie endigen.

Fig. 6. Zur grössern Uiberzeugung von der Richtigkeit der bisher geführten Rechnungen wollen wir die Gleichung $R \cdot Sin\, w \cdot tang(\mu+w) = 2(a+R-R \cdot Cos\, w) = 2(a+z)$ näher betrachten. In derselben ist $R \cdot Sin\, w = BD$, und weil der Winkel $BDO = \mu+w$, so ist $R \cdot Sin\, w \cdot tang(\mu+w) = BO$; nun ist aber nach der Eigenschaft der parabolischen Linie H D die Subtangente $BO = 2BH$; weil aber $BH = a+z$, so sehen wir, dass die obige Gleichung mit der Eigenschaft der parabolischen Bahn des Strahles genau übereinstimmt. Wir können also mit voller Sicherheit den Winkel w aus der Gleichung $R \cdot Sin\, w \cdot tang(\mu+w) = 2(a+R-R \cdot Cos\, w)$ bestimmen. Wenn wir diese Gleichung mit 2 R dividiren, so erhalten wir $\frac{1}{2} Sin\, w \cdot tang(\mu+w) = \frac{a}{R} + 1 - Cos\, w$.

Da diese Gleichung keine algebraische Auflösung zulässt, so wollen wir dieselbe vorläufig für einen bekannten Fall versuchen. Wir haben schon im Vorhergehenden gesehen, dass zur Erzielung einer hohen Wassersäule die Grössen $R \cdot Cos\, w + R \cdot Cos\, \frac{1}{2}(\lambda+\mu)$ gross, folglich die Winkel w und μ möglichst klein seyn müssen. Wir können also statt $tang(\mu+w)$ den beinahe gleichen Werth $Sin\,\mu + Sin\, w$, dann $Cos\, w = \sqrt{1 - Sin^2 w} = 1 - \frac{1}{2} Sin^2 w$ setzen; dadurch erhalten wir $\frac{1}{2} Sin\, w \cdot Sin\,\mu + \frac{1}{2} Sin^2 w = \frac{a}{R} + \frac{1}{2} Sin^2 w$, woraus $R \cdot Sin\, w \cdot Sin\,\mu = 2a$ folgt. Setzen wir nun den Winkel, welchen die Setzschaufeln mit dem Theilrisse machen, $\mu = 30$ Grad, so ist $Sin\,\mu = \frac{1}{2}$. Daraus folgt $4a = R \cdot Sin\, w = BD$. Wenn wir also $a = 1$ Fuss und die Entfernung der Theilpunkte, wie gewöhnlich auch $= 1$ Fuss setzen, so sehen wir, dass der Wasserstrahl in die 4^te^ Zelle fallen müsse; ist aber a nur $= \frac{3}{4}$ Fuss ist, so ist $R \cdot Sin\, w = 3$ Fuss, also muss der Wasserstrahl in die 3^te^ Zelle fallen. Hieraus ist die bekannte Regel der Praktiker ersichtlich, vermöge welcher der Wasserstrahl in die 3^te^ oder 4^te^ Zelle des oberschlächtigen Rades fallen soll. Da es aber von Wichtigkeit ist, den Winkel w genau zu bestimmen, um davon sowohl zur Bestimmung der Höhe des wasserhaltenden Bogens $CB = R \cdot Cos\, w$ als auch der Wasserstandshöhe im Schussgerinne $h = \frac{(a+z)}{tang^2(\mu+w)}$ Gebrauch zu machen, so haben wir den Winkel w in der nachfolgenden Tabelle berechnet.

Die Methode, deren man sich bei dieser Rechnung bediente, wollen wir im folgenden Beispiele zeigen. Hierbei haben wir die Grösse a zur Einheit und zum Maasstabe des Halbmessers R angenommen; weil a bei unsern gewöhnlichen Rädern beina-

he 1 Fuss beträgt. Da man in der 2ten Kolumne der folgenden Tabelle bereits die Winkel w für alle Verhältnisse für $\frac{R}{a}$ von 1 bis 30, folglich für Räder von 2 bis 60 Fuss im Durchmesser des Theilrisses berechnet hat, es demnach nur auf die Bestättigung der Rechnung ankommen kann, so wollen wir in unserem Beispiele $R = 10\,a$, also $\frac{a}{R} = 0{,}1$ und $\mu = 30$ Grad annehmen und den Winkel w näherungsweise bestimmen. Zu dieser Absicht sey $w = 15^\circ\ 30^{Min.}$ und dann $w = 15^\circ\ 40^{Min.}$; wir haben also, wenn diese zwei Werthe für den Winkel w gesetzt werden, folgende 2 hypothetische Gleichungen

$$\frac{\text{Sin } 15^\circ\ 30^{Min.} \cdot \text{tang } 45^\circ\ 30^{Min.}}{2} = 0{,}1 + 1 - \text{Cos } 15^\circ\ 30^{Min.}$$

und $\frac{\text{Sin } 15^\circ\ 40^{Min.} \cdot \text{tang } 45^\circ\ 40^{Min.}}{2} = 0{,}1 + 1 - \text{Cos } 15^\circ\ 40^{Min.}$. Setzt man nun nach den Sinustafeln die Werthe, so ist nach der ersten Gleichung $\frac{0{,}2672 \cdot 1{,}0176}{2} = 0{,}1 + 0{,}0364$ und nach der zweiten Gleichung $\frac{0{,}2700 \cdot 1{,}0235}{2} = 0{,}1 + 0{,}0372$. Werden nun diese Gleichungen reduzirt, so ergibt sich aus der ersten die hypothetische Gleichung $0{,}1360 = 0{,}1364$ und aus der zweiten $0{,}1382 = 0{,}1372$. Aus der ersten Gleichung folgt, wenn das 1te Glied vom 2ten abgezogen wird, der Fehler $+ 0{,}0004$ und wenn auf gleiche Art in der 2ten Gleichung verfahren wird, so ergibt sich der Fehler $- 0{,}0010$; demnach haben wir nach der bekannten Regel von 2 falschen Sätzen: der Unterschied der 2 herausgebrachten Fehler $+ 0{,}0004 + 0{,}0010$ zum Unterschied der angenommenen Hypothesen $15^\circ 40^{Min.} - 15^\circ 30^{Min.}$, wie ein herausgebrachter Fehler $0{,}0004$ zum Fehler der 1ten Hypothese, oder $14 : 10^{Min.} = 4 : 2{,}9^{Min.}$, also ist $w = 15^\circ\ 30^{Min.} + 2{,}9^{Min.} = 15^\circ\ 33^{Min.}$, so wie er in der Tabelle angeführt worden ist.

Es kommt nun noch darauf an, die übrigen Grössen zu finden, wodurch die Wirkung des oberschlächtigen Rades nach der Gleichung Seite 418

$$56{,}4\,M \left\{ \frac{c^2}{2 \cdot 4g} + R \cdot \text{Cos } w + R \cdot \text{Cos } \frac{1}{2}(\lambda + \mu) \right\}$$ zu bemessen ist.

Die 3te Kolumne enthält die Entfernung des Punktes D, wo der Strahl in den Theilriss einfällt, $BD = R \text{ Sin } w$.

Die 4te Kolumne enthält die Höhe des Wasserstandes h über der Mitte der Ausflussöffnung.

Die Grösse h wurde $= \frac{a + z}{\text{tang}^2(\mu + w)} = \frac{a + R - R \cdot \text{Cos } w}{\text{tang}^2(\mu + w)}$ gefunden, weil aber $\text{tang}(\mu + w) = \frac{2(a + z)}{R \cdot \text{Sin } w}$ ist, so haben wir auch $h = \frac{(\frac{1}{2} R \cdot \text{Sin } w)^2}{a + z}$. Dieser Ausdruck lässt sich aber allgemeiner auf folgende Art konstruiren: Weil $BH = HO = a + z = \frac{1}{2} OB$ ist, so können wir aus H zu OD die parallele Linie HP ziehen, so wird $BP = \frac{1}{2} BD = \frac{1}{2} R \cdot \text{Sin } w$ seyn; ziehen wir nun auf HP die winkelrechte PQ, so ist aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $BH : BP = BP : BQ$, oder Fig. 6. Tab. 61.

$a + z : \frac{1}{2} R \cdot \text{Sin } w = \frac{1}{2} R \cdot \text{Sin } w : BQ$; also $BQ = \frac{(\frac{1}{2} R \cdot \text{Sin } w)^2}{a + z} = h$ oder der Höhe des Wasserstandes HK ober der Mitte der Oeffnung.

Die 5te Kolumne enthält die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus dem Gerinne unter der Schütze ausfliesst $= 2\sqrt{g \cdot h}$.

Die 6te Kolumne enthält die Geschwindigkeit des Rades $v = \frac{1}{2} c = \text{Cos}\,\mu \sqrt{g\,(h + a + z)}$.

Fig. 6. Tab. 61. Die 7te Kolumne enthält die Grösse $\frac{c^2}{2 \cdot 4g} = \text{Cos}^2 \mu \left(\frac{h + a + z}{2}\right)$ oder weil $\text{Cos}^2 \mu = \frac{3}{4}$, so ist $\frac{c^2}{2 \cdot 4g} = \frac{3}{4}\left(\frac{h + a + z}{2}\right)$. In Fig. 6 ist die Linie HB in J in zwei Theile getheilt; wäre $\mu = 0$, also $\text{Cos}\,\mu = 1$, so würde zu der Wassersäule $CB = C'D'$ noch die Grösse $BJ = D'J'$ addirt, woraus man ersieht, dass von dem ganzen Gefälle an der obern Hälfte des Rades $KJ = \frac{1}{2} KB$ verloren geht. Dieser Verlust ist wegen der Stellung des Gerinnes über dem Wasserrade und wegen den Gesetzen des Wasserstosses, so wie wir bereits bei unterschlächtigen Rädern gezeigt haben, unvermeidlich. Weil aber der Winkel $\mu = 30$, folglich $\text{Cos}^2 \mu = \frac{3}{4}$ ist, so kommt in dieser Hinsicht nur die Wassersäule $D'i = \frac{3}{4} D'J'$ zuzusetzen. Man sieht aus dieser Zeichnung den unbedeutenden Einfluss, den der Winkel μ auf die Grösse der Wassersäule $C'i$ am obern Theile des Rades verursacht.

Die 8te Kolumne der Tabelle enthält die Höhe des wasserhaltenden Bogens für den obern Theil nämlich $R \cdot \text{Cos}\,w$.

Die 9te Kolumne enthält die wirksame Wassersäule an der obern Hälfte des Rades oder die Summe der Zahlen in der 7ten und 8ten Kolumne.

Die 10te Kolumne enthält die ganze verwendete Gefällshöhe für die obere Hälfte des Rades nämlich $h + a + R$.

Die 11te Kolumne enthält den Verlust, welcher sich ergibt, wenn die wirksame Wassersäule in der 9ten Kolumne von der verwendeten Gefällshöhe in der 10ten Kolumne abgezogen wird.

Die 12te Kolumne enthält den Verlust nach Prozenten, welcher sich ergibt, wenn die Zahlen der 11ten Kolumne mit den Zahlen der 10ten Kolumne dividirt werden.

Bevor wir die wirksame Wassersäule unter dem horizontalen Halbmesser des Rades berechnen, müssen wir noch die Aenderungen untersuchen, welche die Oberfläche des Wassers in der ersten und zuletzt ausgiessenden Zelle durch die Fliehkraft erleidet. Wenn wir die Geschwindigkeit, welche im Theilrisse Statt findet, v nennen, so haben wir §. 104 Seite 143 gezeigt, dass durch die Fliehkraft jedes Wassertheilchen q nach der Richtung des Halbmessers auswärts mit einer Kraft getrieben werde, welche $= \frac{q \cdot v^2}{2g \cdot R}$ ge-

Fig. 7. funden worden. Wenn wir nun aus dem Punkte M auswärts die Linie $MJ = \frac{q \cdot v^2}{2g \cdot R}$ und das Gewicht des Theilchens q in der senkrechten Richtung $= MS$ setzen, so gibt uns die Diagonallinie des Parallelogrammes MJQS die Richtung, nach welcher das Wassertheilchen q von beiden vereinten Kräften getrieben wird, und man sieht von selbst, dass die Oberfläche des Wassers MK nach dem zweiten Grundsatze der Hydrostatik winkelrecht auf diese mittlere Kraft MQ seyn müsse. Der Winkel KMP, welchen die Oberfläche des Wassers mit der Horizontalen bildet, ist offenbar gleich dem Winkel MQJ, denn MQ ist winkelrecht auf MK und QJ winkelrecht auf MP. Der Winkel QMJ ist gleich dem Winkel LMK, welchen nämlich die Richtung der

Kropfschaufel p M K mit dem Theilrisse L M bildet, den wir vorher mit λ bezeichnet haben. Da in dem Dreiecke M Q J die Sinusse der Winkel den gegenüberstehenden Seiten proporzional sind, so haben wir $MJ : JQ = \text{Sin } MQJ : \text{Sin } JMQ$ oder wenn wir die gleichen Werthe setzen $\frac{q \cdot v^2}{2g \cdot R} : q = \text{Sin } KMP : \text{Sin } \lambda$; daraus folgt $\text{Sin } KMP = \frac{v^2 \cdot \text{Sin } \lambda}{2g \cdot R}$. Fig. 7. Tab. 61.

Im Vorhergehenden haben wir gefunden, dass die Geschwindigkeit $v = \frac{1}{2} c$, folglich $\frac{v^2}{2g} = \frac{c^2}{2 \cdot 4g} = \frac{3}{4}\left(\frac{h + a + z}{2}\right)$ ist, mithin ist der $\text{Sin } KMP = \text{Sin } W = \frac{3}{4}\left(\frac{h + a + z}{2}\right)\frac{\text{Sin } \lambda}{R}$.

Auf gleiche Art findet man den Winkel W' für die gänzliche Entleerung der Zellen aus der Gleichung $\text{Sin } W' = \frac{3}{4}\left(\frac{h + a + z}{2}\right)\frac{\text{Sin } \mu}{R}$. Wir sehen also, dass der Anfang des Ausgusses nicht auf der Höhe des Bogens $ub = \lambda$, sondern auf der Höhe $uM = \lambda + W$ Statt finde, und dass auf gleiche Art das Ende des Ausgusses nicht auf der Höhe des Bogens $uv = \mu$, sondern auf der Höhe des Bogens $uV = \mu + W'$ Statt finde. Daraus ergibt sich, dass das Ende des Ausflusses im Mittel auf die Höhe des Bogens $\frac{\lambda + W + \mu + W'}{2}$ zu setzen sey; wornach daher die Länge des untern wasserhaltenden Bogens $= 90 - \left(\frac{\lambda + W + \mu + W'}{2}\right)$, und folglich die Höhe der zugehörigen wirksamen Wassersäule $= R \cdot \text{Cos}\left(\frac{\lambda + W + \mu + W'}{2}\right)$ ist.

In der 13ten und 14ten Kolumne befinden sich vorläufig die Winkel W und W', nach den aufgestellten Gleichungen berechnet, und in der 15ten Kolumne die Höhe der wirksamen Wassersäule für den untern Bogen.

Die 16te Kolumne enthält die verwendete Gefällshöhe sammt dem untern Freihängen $= R + a$.

Die 17te Kolumne enthält den Verlust der Gefällshöhe für die untere Radhälfte und die 18te enthält denselben Verlust nach Prozenten.

Die 4 letzten Kolumnen enthalten für das ganze Rad: die wirksame Wassersäule oder die Summe der 9ten und 15ten Kolumne, das hiezu verwendete ganze Gefälle oder die Summe der 10ten und 16ten Kolumne, den Verlust oder den Unterschied der beiden letzten Summen und die letzte oder 22te Kolumne denselben Verlust nach Prozenten der ganzen Gefällshöhe.

Rechnung für die obere Hälfte des Rades.

$\frac{R}{a}$	Winkel für den Ort des einfallenden Wasserstrahles w	Abstand des einfallenden Wasserstrahles R . Sin w	Höhe des Wasserstandes im Gerinne h	Geschwindigkeit des Wassers unter der Schütze $2\sqrt{g.h}$	Geschwindigkeit des Rades v	Wirksame Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{2.4g}$	Höhe des wasserhaltenden Bogens R·Cos w	Wirksame Wassersäule	Verwendete Gefällshöhe h + a + R	Verlust am Gefälle	Verlust nach Prozenten des verwendeten Gefälles
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1	44° — 44′	0,70 a	0,10 a	2,49 $\sqrt{a}$	4,01 $\sqrt{a}$	0,52 a	0,71 a	1,23 a	2,10 a	0,87 a	0,41
2	36° — 49′	1,20 a	0,26 a	4,01 $\sqrt{a}$	4,38 $\sqrt{a}$	0,62 a	1,60 a	2,22 a	3,26 a	1,04 a	0,32
3	31° — 29′	1,57 a	0,43 a	5,16 $\sqrt{a}$	4,66 $\sqrt{a}$	0,70 a	2,56 a	3,26 a	4,43 a	1,17 a	0,26
4	27° — 32′	1,85 a	0,59 a	6,05 $\sqrt{a}$	4,89 $\sqrt{a}$	0,77 a	3,55 a	4,32 a	5,59 a	1,27 a	0,23
5	24° — 28′	2,07 a	0,74 a	6,77 $\sqrt{a}$	5,04 $\sqrt{a}$	0,82 a	4,55 a	5,37 a	6,74 a	1,37 a	0,20
6	21° — 59′	2,25 a	0,88 a	7,39 $\sqrt{a}$	5,19 $\sqrt{a}$	0,87 a	5,56 a	6,43 a	7,88 a	1,45 a	0,18
7	19° — 57′	2,39 a	1,00 a	7,87 $\sqrt{a}$	5,31 $\sqrt{a}$	0,91 a	6,58 a	7,49 a	9,00 a	1,51 a	0,17
8	18° — 14′	2,50 a	1,12 a	8,33 $\sqrt{a}$	5,43 $\sqrt{a}$	0,95 a	7,60 a	8,55 a	10,12 a	1,57 a	0,16
9	16° — 48′	2,60 a	1,22 a	8,70 $\sqrt{a}$	5,51 $\sqrt{a}$	0,98 a	8,62 a	9,60 a	11,22 a	1,62 a	0,14
10	15° — 33′	2,68 a	1,32 a	9,05 $\sqrt{a}$	5,60 $\sqrt{a}$	1,01 a	9,63 a	10,64 a	12,32 a	1,68 a	0,14
11	14° — 28′	2,75 a	1,40 a	9,32 $\sqrt{a}$	5,65 $\sqrt{a}$	1,03 a	10,65 a	11,68 a	13,40 a	1,72 a	0,13
12	13° — 32′	2,81 a	1,48 a	9,58 $\sqrt{a}$	5,71 $\sqrt{a}$	1,05 a	11,67 a	12,72 a	14,48 a	1,76 a	0,12
13	12° — 41′	2,85 a	1,55 a	9,80 $\sqrt{a}$	5,79 $\sqrt{a}$	1,08 a	12,68 a	13,76 a	15,55 a	1,79 a	0,12
14	11° — 57′	2,90 a	1,61 a	9,99 $\sqrt{a}$	5,81 $\sqrt{a}$	1,09 a	13,70 a	14,79 a	16,61 a	1,82 a	0,11
15	11° — 18′	2,94 a	1,67 a	10,18 $\sqrt{a}$	5,87 $\sqrt{a}$	1,11 a	14,71 a	15,82 a	17,67 a	1,85 a	0,10
16	10° — 42′	2,97 a	1,73 a	10,36 $\sqrt{a}$	5,92 $\sqrt{a}$	1,13 a	15,72 a	16,85 a	18,73 a	1,88 a	0,10
17	10° — 10′	3,00 a	1,78 a	10,51 $\sqrt{a}$	5,94 $\sqrt{a}$	1,14 a	16,73 a	17,87 a	19,78 a	1,91 a	0,10
18	9° — 41′	3,03 a	1,83 a	10,65 $\sqrt{a}$	5,99 $\sqrt{a}$	1,16 a	17,74 a	18,90 a	20,83 a	1,93 a	0,09
19	9° — 15′	3,05 a	1,87 a	10,77 $\sqrt{a}$	6,00 $\sqrt{a}$	1,17 a	18,75 a	19,92 a	21,87 a	1,95 a	0,09
20	8° — 51′	3,08 a	1,91 a	10,88 $\sqrt{a}$	6,05 $\sqrt{a}$	1,18 a	19,76 a	20,94 a	22,91 a	1,97 a	0,09
21	8° — 28′	3,09 a	1,94 a	11,00 $\sqrt{a}$	6,07 $\sqrt{a}$	1,19 a	20,77 a	21,96 a	23,94 a	1,98 a	0,08
22	8° — 8′	3,11 a	1,98 a	11,08 $\sqrt{a}$	6,10 $\sqrt{a}$	1,20 a	21,78 a	22,98 a	24,98 a	2,00 a	0,08
23	7° — 49′	3,13 a	2,01 a	11,16 $\sqrt{a}$	6,12 $\sqrt{a}$	1,21 a	22,79 a	24,00 a	26,01 a	2,01 a	0,08
24	7° — 32′	3,15 a	2,05 a	11,25 $\sqrt{a}$	6,15 $\sqrt{a}$	1,22 a	23,79 a	25,01 a	27,05 a	2,04 a	0,08
25	7° — 16′	3,16 a	2,07 a	11,33 $\sqrt{a}$	6,17 $\sqrt{a}$	1,23 a	24,80 a	26,03 a	28,07 a	2,04 a	0,07
26	7° — 0′	3,17 a	2,10 a	11,41 $\sqrt{a}$	6,17 $\sqrt{a}$	1,23 a	25,81 a	27,04 a	29,10 a	2,06 a	0,07
27	6° — 46′	3,18 a	2,13 a	11,49 $\sqrt{a}$	6,20 $\sqrt{a}$	1,24 a	26,81 a	28,05 a	30,13 a	2,08 a	0,07
28	6° — 32′	3,19 a	2,15 a	11,55 $\sqrt{a}$	6,22 $\sqrt{a}$	1,25 a	27,82 a	29,07 a	31,15 a	2,08 a	0,07
29	6° — 20′	3,20 a	2,17 a	11,60 $\sqrt{a}$	6,25 $\sqrt{a}$	1,26 a	28,82 a	30,08 a	32,17 a	2,09 a	0,06
30	6° — 8′	3,20 a	2,19 a	11,65 $\sqrt{a}$	6,25 $\sqrt{a}$	1,26 a	29,83 a	31,09 a	33,19 a	2,10 a	0,06

	Rechnung für die untere Hälfte des Rades.						Zusammen für beide Radhälften.			
R/a	W	W′	Wirksame Wassersäule	Verwendete Gefällshöhe sammt Freihängen.	Verlust		Summe der obern und untern wirksamen Wassersäule	Ganzes verwendetes Gefälle h+2a+2R	Verlust	
					am Gefälle	nach Prozenten			vom ganzen Gefälle	nach Prozenten
I.	XIII.	XIV.	XV.	XVI.	XVII.	XVIII.	XIX.	XX.	XXI.	XXII.
1	26°—46′	15°— 4′	0,41 a	2 a	1,59 a	0,80	1,64 a	4,10 a	2,46 a	0,60
2	15°—35′	8°—55′	1,08 a	3 a	1,92 a	0,64	3,30 a	6,26 a	2,96 a	0,47
3	11°—40′	6°—42′	1,76 a	4 a	2,24 a	0,56	5,02 a	8,43 a	3,41 a	0,40
4	9°—36′	5°—31′	2,43 a	5 a	2,57 a	0,51	6,75 a	10,59 a	3,84 a	0,36
5	8°—10′	4°—42′	3,12 a	6 a	2,88 a	0,48	8,49 a	12,74 a	4,25 a	0,33
6	7°—13′	4°— 9′	3,80 a	7 a	3,20 a	0,46	10,23 a	14,88 a	4,65 a	0,31
7	6°—28′	3°—44′	4,49 a	8 a	3,51 a	0,44	11,98 a	17,00 a	5,02 a	0,30
8	5°—54′	3°—24′	5,18 a	9 a	3,82 a	0,42	13,73 a	19,12 a	5,39 a	0,28
9	5°—24′	3°— 7′	5,87 a	10 a	4,13 a	0,41	15,47 a	21,22 a	5,75 a	0,27
10	5°— 1′	2°—54′	6,57 a	11 a	4,43 a	0,40	17,21 a	23,32 a	6,11 a	0,26
11	4°—39′	2°—41′	7,26 a	12 a	4,74 a	0,40	18,94 a	25,40 a	6,46 a	0,25
12	4°—21′	2°—31′	7,96 a	13 a	5,04 a	0,39	20,68 a	27,48 a	6,80 a	0,25
13	4°— 8′	2°—23′	8,66 a	14 a	5,34 a	0,38	22,42 a	29,55 a	7,13 a	0,24
14	3°—52′	2°—14′	9,36 a	15 a	5,64 a	0,38	24,15 a	31,61 a	7,46 a	0,24
15	3°—40′	2°— 7′	10,06 a	16 a	5,94 a	0,37	25,88 a	33,67 a	7,79 a	0,23
16	3°—30′	2°— 1′	10,76 a	17 a	6,24 a	0,37	27,61 a	35,73 a	8,12 a	0,23
17	3°—20′	1°—55′	11,46 a	18 a	6,54 a	0,36	29,33 a	37,78 a	8,45 a	0,22
18	3°—12′	1°—51′	12,16 a	19 a	6,84 a	0,36	31,06 a	39,83 a	8,77 a	0,22
19	3°— 3′	1°—46′	12,86 a	20 a	7,14 a	0,36	32,78 a	41,87 a	9,09 a	0,22
20	2°—56′	1°—41′	13,56 a	21 a	7,44 a	0,35	34,50 a	43,91 a	9,41 a	0,21
21	2°—49′	1°—37′	14,26 a	22 a	7,74 a	0,35	36,22 a	45,94 a	9,72 a	0,21
22	2°—43′	1°—34′	14,96 a	23 a	8,04 a	0,35	37,94 a	47,98 a	10,04 a	0,21
23	2°—37′	1°—30′	15,67 a	24 a	8,33 a	0,35	39,67 a	50,01 a	10,34 a	0,21
24	2°—31′	1°—27′	16,37 a	25 a	8,63 a	0,35	41,38 a	52,05 a	10,67 a	0,20
25	2°—26′	1°—25′	17,03 a	26 a	8,92 a	0,34	43,11 a	54,07 a	10,96 a	0,20
26	2°—21′	1°—21′	17,78 a	27 a	9,22 a	0,34	44,82 a	56,10 a	11,28 a	0,20
27	2°—17′	1°—19′	18,48 a	28 a	9,52 a	0,34	46,53 a	58,13 a	11,60 a	0,20
28	2°—13′	1°—17′	19,19 a	29 a	9,81 a	0,34	48,26 a	60,15 a	11,89 a	0,20
29	2°— 9′	1°—15′	19,89 a	30 a	10,11 a	0,34	49,97 a	62,17 a	12,20 a	0,20
30	2°— 5′	1°—12′	20,60 a	31 a	10,40 a	0,34	51,69 a	64,19 a	12,50 a	0,19

§. 308.

Aus der vorigen Tabelle lassen sich alle Maasse sowohl für den Bau oberschlächtiger Räder, als auch für ihre Wirkung ableiten. Um hiervon ein Beispiel zu geben, wollen wir annehmen, dass bei einem Gebirgsbache der Wasserzufluss, auf welchen durch das ganze Jahr mit Beihülfe der Teiche gerechnet werden kann, 2 Kub. Fuss $= M$ in jeder Sekunde betrage. Mit diesem Wasser soll eine Mühle nach Art der oben angeführten Prager Mühlen gebaut werden, welche täglich 20 Metzen Korn zu Brodmehl vermahlen im Stande ist. Es entsteht nun die Frage, welches Gefälle hierzu nothwendig und welche Dimensionen dem Rade, den Zellen und dem übrigen Räderwerk gegeben werden müssen, um auf diese Wirkung mit Sicherheit rechnen zu können.

Nach Seite 373 werden auf den Prager Mühlen in 24 Stunden 20 Metzen Korn mit einem Bewegungsmoment von $20 . 117 = 2340$ vermahlen. Wird dieses Moment mit dem Gewichte des gegebenen Wasserzuflusses $2 . 56{,}4$ Pfund dividirt, so ergibt sich die nöthige wirksame Gefällshöhe $\frac{20 . 117}{2 . 56{,}4} = 20{,}7$ Fuss. Wird dieses Gefälle in der 19ten Kolumne aufgesucht, so finden wir $20{,}68 . a$ als dasjenige, welches dem berechneten am nächsten kommt. Wird nun $a = 1$ Fuss gesetzt, so sehen wir, dass hierzu nach der 1ten Kolumne das Wasserrad einen Halbmesser $R = 12$ Fuss im Theilrisse erhalten müsse. Hierzu ist die Wasserstandshöhe im Gerinne nach der 4ten Kolumne $h = 1{,}48$ Fuss nothwendig. Rechnen wir hierzu die Höhe von der Mitte der Ausflussöffnung bis zum Theilrisse $a = 1$ Fuss und eben so die Höhe vom Theilriss bis zum Unterwasser $a = 1$ Fuss, so beträgt das ganze Gefälle von der Oberfläche des Oberwassers bis zur Oberfläche des Unterwassers $= 1{,}48 + 1 + 24 + 1 = 27{,}48$ Fuss, welches mit der 20ten Kolumne übereinstimmt; wodurch also die Hauptfrage beantwortet ist.

Nach §. 303 erhält das Rad 11 mal so viel Zellen als der Halbmesser Fusse hat, oder $11 . 12 = 132$ Zellen. Die Breite der Radkränze beträgt 9 Zoll und die Konstrukzion der Zellen ist nach demselben §. auszuführen. Da die Wassermenge von 2 Kub. Fuss in jeder Sekunde in die Zellen des Rades aufgenommen werden muss, die Zellen aber nach Abschlag der Schaufeln nur auf $0{,}9$ von 6 Zoll $= \frac{9}{20}$ Fuss Höhe angefüllt werden, und das Rad nach der 6ten Kolumne mit der Geschwindigkeit von $5{,}7$ Fuss sich bewegt, so beträgt die Profilfläche des gefüllten Radkranzes $5{,}7 . \frac{9}{20}$ Quad. Fuss. Wird nun die Wassermenge 2 Kub. Fuss mit dieser Profilfläche dividirt, so ist die nöthige Weite zwischen den Radkränzen $= \frac{2}{5{,}7 . {}^9/_{20}} = 0{,}8$ Fuss sehr nahe, wofür man aus Gründen, die später noch mehr erklärt werden, wenigstens 1 Fuss annehmen kann.

Wird nun dem Gerinne eine Breite von $^3/_4$ Fuss im Lichten gegeben, und nennen wir die Höhe, wie hoch die Schütze gezogen werden muss, $= x$, so ist nach §. 115 die ausfliessende Wassermenge $2 = m . {}^3/_4 . x . 2 \sqrt{g . h} = 0{,}856 . {}^3/_4 . x . 2 \sqrt{15{,}5 . 1{,}48}$. Hieraus folgt die Höhe, auf welche die Schütze gezogen werden muss, $x = 0{,}33$ Fuss oder 4 Zolle sehr nahe.

Weil aber die Höhe des Wasserstandes durch zufällige Umstände verändert werden kann, dagegen aber anderseits nothwendig ist, dass der Wasserstrahl nach der Richtung der Setzschaufeln auf der Entfernung R . Sin w = 2,81 Fuss in den Theilriss einfalle, und in keinem Falle das Rad überschreiten darf, so ist nothwendig, in der Richtung der Tangente O D ein Bret l n unmittelbar über der äussern Peripherie des Rades am Boden und an die Seitenwände der Oeffnung zu befestigen. Zur Bestimmung der Entfernung und Richtung dieses Bretes dient die Linie H m = ½ B D = ½ R . Sin w = 1,4 Fuss und die Höhe H O = H B = a + z = a + R — R . Cos w = 1,33 Fuss. Die Geschwindigkeit des Wasserrades beträgt v = 5,7 Fuss, und wenn die Geschwindigkeit an dem Umfange der Mühlsteine = 30 Fuss seyn soll, so unterliegt die Berechnung des Räderwerkes nach den bekannten Grundsätzen keinem weitern Anstande. Fig. 6. Tab. 61.

§. 309.

Da man jedoch bei Hammerwerken und mehreren andern Maschinen in den Fall kommt, dass das Rad zu einer Zeit mit einer grössern, zu einer andern Zeit aber mit einer kleinern Kraft betrieben, hierbei aber die Bedingniss, dass das Wasser stets nach der Richtung der Setzschaufeln in das Rad einfalle, unabänderlich beibehalten werden muss, so ist ersichtlich, dass dieses Bedürfniss nur durch die einzulassende Wassermenge und durch das höhere und niedrigere Aufziehen der Schütze erfüllt werden könne. Es ist demnach nothwendig, für alle solche Fälle die Radschaufeln nicht bis zu ⅔ der Höhe der Radkränze, sondern weniger anzufüllen, um dadurch den Arbeiter in Stand zu setzen, durch ein höheres Aufziehen der Schütze die Wirkung des Rades nach Bedarf zu vermehren. Da auf diese Art die Zellen nur eine kleinere Wassermenge aufnehmen, daher die Verengung des Raumes für den Einfluss des Wassers zwischen den Setzschaufeln weniger hinderlich wird, so erlangt man zugleich den Vortheil, durch Verminderung der Winkel λ und μ die Entleerung der Zellen tiefer herabzusetzen. In dieser Hinsicht haben wir bei der Berechnung der folgenden Tabelle die gewöhnliche Bauart der oberschlächtigen Räder, die Anzahl der Zellen und Breite der Radkränze beibehalten, jedoch den Theilriss in die Mitte der Kränze gesetzt. Hieraus ergibt sich der Winkel, den die Setzschaufeln mit dem Theilrisse machen, nach der Gleichung $\text{tang } o\,q\,n = \text{tang } \mu = \frac{o\,n}{o\,q} = \frac{\frac{1}{2} b}{E}$; in unserm Falle ist $\frac{\frac{1}{2} b}{E} = \frac{9}{2\,.\,12} = \frac{3}{8}$, folglich $\mu = 20^0\ 33^{\text{Min.}}$; für die Anfüllung wurde statt zwei Drittel nur ein Viertel der Breite der Radkränze angenommen. Es ist aber der Inhalt einer Zelle $= \frac{1}{2}(m\,n + p\,q)\ o\,q = \frac{3}{4}\,b\,.\,E$, hiervon der Inhalt des Dreieckes $m\,n\,p = \frac{1}{2} m\,n\,.\,m\,p = \frac{1}{2} b\,.\,E$ abgezogen, gibt den Inhalt des Dreieckes $n\,p\,q = \frac{1}{4} b\cdot E$, es wird also dieser Inhalt auszufliessen anfangen, wenn p n horizontal wird; in diesem Falle ist aber $\text{tang } \lambda = \text{tang } m\,p\,n = \frac{m\,n}{m\,p} = \frac{b}{E} = \frac{9}{12} = \frac{3}{4}$, folglich $\lambda = 36^0\ 52^{\text{Min.}}$. Mit diesen Winkeln ist die folgende Tabelle berechnet. Fig. 8.

Rechnung für die obere Hälfte des Rades.

$\frac{R}{a}$	Winkel für den Ort des einfallenden Wasserstrahles w	Abstand des einfallenden Wasserstrahles R . Sin w	Höhe des Wasserstandes im Gerinne h	Geschwindigkeit des Wassers unter der Schütze $2\sqrt{g \cdot h}$	Geschwindigkeit des Rades v	Wirksame Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{2 \cdot 4g}$	Höhe des wasserhaltenden Bogens R·Cos w	Wirksame Wassersäule	Verwendete Gefällshöhe h + a + R	Verlust am Gefälle	Verlust nach Prozenten des verwendeten Gefälles
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1	53° — 29′	0,80 a	0,11 a	2,61 √a	4,52 √a	0,66 a	0,60 a	1,26 a	2,11 a	0,85 a	0,40
2	45° — 24′	1,42 a	0,32 a	4,45 √a	5,10 √a	0,84 a	1,40 a	2,24 a	3,32 a	1,08 a	0,33
3	39° — 55′	1,93 a	0,55 a	5,84 √a	5,54 √a	0,99 a	2,30 a	3,29 a	4,55 a	1,26 a	0,28
4	35° — 46′	2,34 a	0,78 a	6,95 √a	5,87 √a	1,11 a	3,25 a	4,36 a	5,78 a	1,42 a	0,25
5	32° — 28′	2,68 a	1,01 a	7,91 √a	6,15 √a	1,22 a	4,22 a	5,44 a	7,01 a	1,57 a	0,22
6	29° — 43′	2,97 a	1,24 a	8,77 √a	6,42 √a	1,33 a	5,21 a	6,54 a	8,24 a	1,70 a	0,21
7	27° — 24′	3,22 a	1,45 a	9,48 √a	6,63 √a	1,42 a	6,21 a	7,63 a	9,45 a	1,82 a	0,19
8	25° — 23′	3,43 a	1,66 a	10,14 √a	6,82 √a	1,50 a	7,22 a	8,72 a	10,66 a	1,94 a	0,18
9	23° — 39′	3,61 a	1,86 a	10,74 √a	7,02 √a	1,59 a	8,24 a	9,83 a	11,86 a	2,03 a	0,17
10	22° — 8′	3,77 a	2,04 a	11,25 √a	7,17 √a	1,66 a	9,26 a	10,92 a	13,04 a	2,12 a	0,16
11	20° — 46′	3,90 a	2,22 a	11,73 √a	7,32 √a	1,73 a	10,29 a	12,02 a	14,22 a	2,20 a	0,15
12	19° — 34′	4,02 a	2,39 a	12,17 √a	7,45 √a	1,79 a	11,31 a	13,10 a	15,39 a	2,29 a	0,15
13	18° — 30′	4,12 a	2,54 a	12,55 √a	7,57 √a	1,85 a	12,33 a	14,18 a	16,54 a	2,36 a	0,14
14	17° — 32′	4,22 a	2,69 a	12,91 √a	7,67 √a	1,90 a	13,35 a	15,25 a	17,69 a	2,44 a	0,14
15	16° — 39′	4,30 a	2,83 a	13,25 √a	7,79 √a	1,96 a	14,37 a	16,33 a	18,83 a	2,50 a	0,13
16	15° — 49′	4,36 a	2,96 a	13,55 √a	7,87 √a	2,00 a	15,39 a	17,39 a	19,96 a	2,57 a	0,13
17	15° — 4′	4,42 a	3,08 a	13,82 √a	7,95 √a	2,04 a	16,41 a	18,45 a	21,08 a	2,63 a	0,12
18	14° — 24′	4,48 a	3,20 a	14,09 √a	8,05 √a	2,09 a	17,43 a	19,52 a	22,20 a	2,68 a	0,12
19	13° — 48′	4,53 a	3,32 a	14,35 √a	8,14 √a	2,14 a	18,45 a	20,59 a	23,32 a	2,73 a	0,12
20	13° — 14′	4,58 a	3,42 a	14,56 √a	8,20 √a	2,17 a	19,47 a	21,64 a	24,42 a	2,78 a	0,11
21	12° — 42′	4,62 a	3,52 a	14,77 √a	8,28 √a	2,21 a	20,49 a	22,70 a	25,52 a	2,82 a	0,11
22	12° — 13′	4,66 a	3,62 a	14,98 √a	8,33 √a	2,24 a	21,50 a	23,74 a	26,62 a	2,88 a	0,11
23	11° — 47′	4,70 a	3,71 a	15,17 √a	8,41 √a	2,28 a	22,51 a	24,79 a	27,71 a	2,92 a	0,11
24	11° — 21′	4,72 a	3,79 a	15,33 √a	8,46 √a	2,31 a	23,53 a	25,84 a	28,79 a	2,95 a	0,10
25	10° — 58′	4,76 a	3,87 a	15,51 √a	8,52 √a	2,34 a	24,54 a	26,88 a	29,87 a	2,99 a	0,10
26	10° — 35′	4,78 a	3,95 a	15,65 √a	8,55 √a	2,36 a	25,56 a	27,92 a	30,95 a	3,03 a	0,10
27	10° — 14′	4,80 a	4,03 a	15,81 √a	8,61 √a	2,39 a	26,57 a	28,96 a	32,03 a	3,07 a	0,10
28	9° — 55′	4,82 a	4,10 a	15,94 √a	8,66 √a	2,42 a	27,58 a	30,00 a	33,10 a	3,10 a	0,09
29	9° — 37′	4,85 a	4,17 a	16,08 √a	8,71 √a	2,45 a	28,59 a	31,04 a	34,17 a	3,13 a	0,09
30	9° — 20′	4,87 a	4,24 a	16,21 √a	8,75 √a	2,47 a	29,60 a	32,07 a	35,24 a	3,17 a	0,09

	Rechnung für die untere Hälfte des Rades.						Zusammen für beide Radhälften.			
$\frac{R}{a}$	W	W′	Wirksame Wassersäule	Verwendete Gefällshöhe sammt Freihängen	Verlust		Summe der obern und untern wirksamen Wassersäule	Ganzes verwendetes Gefälle h+2a+2R	Verlust	
					am Gefälle	nach Prozenten			vom ganzen Gefälle	nach Prozenten
I.	XIII.	XIV.	XV.	XVI.	XVII.	XVIII.	XIX.	XX.	XXI.	XXII.
1	23°—20′	13°—24′	0,68 a	2 a	1,32 a	0,66	1,94 a	4,11 a	2,17 a	0,53
2	14°—36′	8°—29′	1,53 a	3 a	1,47 a	0,49	3,77 a	6,32 a	2,55 a	0,40
3	11°—25′	6°—39′	2,37 a	4 a	1,63 a	0,41	5,66 a	8,55 a	2,89 a	0,34
4	9°—35′	5°—35′	3,22 a	5 a	1,78 a	0,36	7,53 a	10,78 a	3,20 a	0,30
5	8°—25′	4°—55′	4,08 a	6 a	1,92 a	0,32	9,52 a	13,01 a	3,49 a	0,27
6	7°—39′	4°—28′	4,93 a	7 a	2,07 a	0,30	11,47 a	15,24 a	3,77 a	0,25
7	6°—59′	4°— 5′	5,79 a	8 a	2,21 a	0,28	13,42 a	17,45 a	4,03 a	0,23
8	6°—28′	3°—46′	6,65 a	9 a	2,35 a	0,26	15,37 a	19,66 a	4,29 a	0,22
9	6°— 3′	3°—33′	7,50 a	10 a	2,50 a	0,25	17,33 a	21,86 a	4,53 a	0,21
10	5°—43′	3°—20′	8,36 a	11 a	2,64 a	0,24	19,28 a	24,04 a	4,76 a	0,20
11	5°—25′	3°—10′	9,23 a	12 a	2,77 a	0,23	21,25 a	26,22 a	4,97 a	0,19
12	5°— 8′	3°— 0′	10,09 a	13 a	2,91 a	0,22	23,19 a	28,39 a	5,20 a	0,18
13	4°—54′	2°—52′	10,95 a	14 a	3,05 a	0,22	25,13 a	30,54 a	5,41 a	0,18
14	4°—40′	2°—44′	11,82 a	15 a	3,18 a	0,21	27,07 a	32,69 a	5,62 a	0,17
15	4°—30′	2°—38′	12,68 a	16 a	3,32 a	0,21	29,01 a	34,83 a	5,82 a	0,17
16	4°—18′	2°—31′	13,56 a	17 a	3,44 a	0,20	30,95 a	36,96 a	6,01 a	0,16
17	4°— 8′	2°—25′	14,42 a	18 a	3,58 a	0,20	32,87 a	39,08 a	6,21 a	0,16
18	4°— 0′	2°—20′	15,29 a	19 a	3,71 a	0,20	34,81 a	41,20 a	6,39 a	0,16
19	3°—52′	2°—16′	16,16 a	20 a	3,84 a	0,19	36,75 a	43,32 a	6,57 a	0,15
20	3°—44′	2°—11′	17,02 a	21 a	3,98 a	0,19	38,66 a	45,42 a	6,76 a	0,15
21	3°—37′	2°— 7′	17,89 a	22 a	4,11 a	0,19	40,59 a	47,52 a	6,93 a	0,15
22	3°—30′	2°— 3′	18,76 a	23 a	4,24 a	0,18	42,50 a	49,62 a	7,12 a	0,14
23	3°—25′	2°— 0′	19,63 a	24 a	4,37 a	0,18	44,42 a	51,71 a	7,29 a	0,14
24	3°—19′	1°—56′	20,50 a	25 a	4,50 a	0,18	46,34 a	53,79 a	7,45 a	0,14
25	3°—13′	1°—53′	21,37 a	26 a	4,63 a	0,18	48,25 a	55,87 a	7,62 a	0,14
26	3°— 7′	1°—50′	22,24 a	27 a	4,76 a	0,18	50,16 a	57,95 a	7,79 a	0,13
27	3°— 3′	1°—47′	23,12 a	28 a	4,88 a	0,17	52,08 a	60,03 a	7,95 a	0,13
28	2°—58′	1°—44′	23,99 a	29 a	5,01 a	0,17	53,99 a	62,10 a	8,11 a	0,13
29	2°—54′	1°—42′	24,86 a	30 a	5,14 a	0,17	55,90 a	64,17 a	8,27 a	0,13
30	2°—50′	1°—39′	25,73 a	31 a	5,27 a	0,17	57,80 a	66,24 a	8,44 a	0,13

§. 310.

Wird diese Tabelle für die nur zum 4^{ten} Theile angefüllten Zellen mit der vorigen für die bis zu $^2/_3$ des Inhaltes angefüllten Zellen verglichen, so sehen wir, dass die wirksame Wassersäule bei der obern Hälfte des Rades, obgleich der Winkel μ im letzten Falle viel kleiner angenommen wurde, doch nur unbedeutend verschieden ist, wie es die Vergleichung der Zahlen der 9^{ten} Kolumne in beiden Tabellen zeigt; vielmehr sind die Wassersäulen R. Cos w im letzten Falle um etwas kleiner, weil durch die Verminderung des Winkels μ der Winkel w für den einfallenden Strahl vergrössert wird. Auch ist die Wasserstandshöhe h in der 4^{ten} Kolumne für den kleinern Winkel μ grösser, wodurch sonach auch die verwendete Gefällshöhe in der 10^{ten} Kolumne grösser, jedoch das wirksame Gefälle in der 9^{ten} Kolumne nicht in demselben Maasse vergrössert wird. Da jedoch die Unterschiede des Verlustes nach Prozenten in beiden Fällen nur unbedeutend verschieden sind, so können wir über diese kleinen Unterschiede bei der obern Hälfte des Rades mit voller Beruhigung hinausgehen.

Dagegen finden wir aber an der untern Hälfte des Rades bei der Anfüllung nur zum 4^{ten} Theil die wirksame Wassersäule in der 15^{ten} Kolumne bedeutend grösser als wenn die Zellen auf $^2/_3$ angefüllt werden, wovon die Ursache zum Theil in der Verminderung des Winkels μ, hauptsächlich aber in dem Winkel λ liegt. Bei der gewöhnlichen Bauart der Räder beträgt nämlich der Winkel λ, wenn die Zellen bis an die Kropfschaufeln angefüllt werden, 90 Grade; das Wasser fängt demnach, wenn wir der grössern Deutlichkeit wegen, die Fliehkraft nicht berücksichtigen, schon bei dem horizontalen Halbmesser oder bei 90 Grad über dem untersten Punkt des Theilrisses, an auszufliessen, und die Zellen sind gänzlich geleert, wenn die Setzschaufeln in die horizontale Stellung kommen, oder 30 Grad vom tiefsten Punkte entfernt sind. Das Mittel von beiden gibt $\frac{30 + 90}{2} = 60$ Grad, und daher wird die wirksame Wassersäule für die untere Hälfte des Rades $=$ R. Cos $60 = 0{,}5$ R seyn. In der vorigen Tabelle war $\lambda = 60^\circ$ und $\mu = 30^\circ$ angenommen, das Mittel von beiden beträgt 45 Grad und die wirksame Wassersäule ist daher R. Cos $45 = 0{,}707$ R. Im letzten Falle bei der Anfüllung bis zum vierten Theile des Inhaltes war $\lambda = 36^\circ\,52'$ und $\mu = 20^\circ\,33'$; das Mittel von beiden ist $28^\circ\,43'$ und daher die wirksame Wassersäule R. Cos $28^\circ\,43' = 0{,}877$ R. Hieraus ist einleuchtend, dass in allen Fällen, wo es darauf ankommt, das Gefälle möglichst zu benützen, es vortheilhaft seyn werde, die Zellen nicht ganz anzufüllen und daher das Fehlende am Inhalt durch die Weite der Radkränze zu ersetzen.

Die Rechnung hierüber unterliegt keinem Anstande; im vorigen Beispiele war die gegebene Wassermenge $M = 2$ Kub. Fuss und das zur Vermahlung von 20 Strich Korn nöthige Gefälle 20,7 Fuss. Wenn wir diese Zahl in der 19^{ten} Kolumne der gegenwärtigen Tabelle aufsuchen, so findet sich dieselbe nahe bei $\frac{R}{a} = 10\frac{1}{2}$ Fuss, folglich ist der Durchmesser des Theilrisses nur 21 Fuss statt der vorigen 24 Fuss und das nöthige ganze Gefälle ist $25\frac{1}{6}$ Fuss statt der vorigen $27\frac{1}{2}$ Fuss. Wir sehen hieraus,

dass bei der geringern Anfüllung zugleich ein kleineres Gefälle benöthigt wird, welches in jenen Fällen, wo es sich erst um die Herstellung des Gefälles handelt, für jeden Bauherrn von Wichtigkeit ist. Die Geschwindigkeit des Rades ist nach der 6ten Kolumne $v = 7{,}25$ Fuss. Wenn wir für die Höhe des Radkranzes abermals 9 Zoll oder $\frac{3}{4}$ Fuss annehmen, so haben wir für die Anfüllung zum vierten Theile die Gleichung $2 \text{ Kub. Fuss} = \frac{B}{4} \cdot \frac{3}{4} \cdot 7\frac{1}{4}$. Hieraus folgt die Weite der Zellen oder die Breite des Rades zwischen den Radkränzen $B = 1{,}47$ Fuss, wofür man zur grössern Sicherheit 2 Fuss annehmen kann. Der Vortheil, dass man bei dem Antrag einer geringen Anfüllung der Zellen zugleich in Stand gesetzt wird, durch eine höhere Ziehung der Schützen die Kraft des Rades nach Bedürfniss zu verstärken, ist bereits oben angeführt und umständlich erklärt worden.

Zur Bestättigung dieser Theorie verdient noch bemerkt zu werden, dass mein Vater bei mehreren Untersuchungen über die Einrichtung der Hammerräder das Aufschlagwasser durch Herablassung der Schützen bis zur Hälfte der Oeffnungsfläche vermindern liess und hierbei bemerkte, dass die Stabhämmer, welche vorher 68 bis 70 Schläge in einer Minute gemacht hatten, mit der Hälfte des Aufschlagwassers nicht 34 oder 35, sondern 42 bis 48 Schläge in derselben Zeit gemacht haben, welches daher zum offenbaren Beweis dient, dass die wirksame Wassersäule durch Verminderung des Aufschlagwassers um den vierten oder dritten Theil vermehrt worden, folglich durch eine angemessene Erweiterung der Radkränze derselbe Effekt mit einem geringern Wasserzufluss bewirkt werden konnte. Dass diess in Gegenden, wo die Hämmer vorzüglich in Sommermonaten wegen Wassermangel durch eine längere Zeit stehen müssen, von der grössten Wichtigkeit sey, leuchtet von selbst ein.

§. 311.

In mehreren Schriften wird die Frage untersucht, ob und in welchen Fällen die Anlegung der unterschlächtigen oder oberschlächtigen Räder vorzuziehen sey. Die Beantwortung dieser Frage ergibt sich gleichfalls aus den angeführten Tabellen. Wir haben nämlich bei den unterschlächtigen Rädern gezeigt, dass bei denselben in jedem Falle die Hälfte des Gefälles unbenützt bleiben müsse; diess beträgt nach Prozenten berechnet 0,50 des ganzen Gefälles. Nach unserer 1ten Tabelle beträgt der Verlust 0,60 bei dem Gefälle 4,10 a und 0,47 bei dem Gefälle 6,26 a, folglich wäre es bei dem Gefälle von $5\frac{1}{2}$ Fuss gleichgültig ein ober- oder unterschlächtiges Rad anzulegen.

Im zweiten Falle aber, wenn die Zellen nur zum 4ten Theile angefüllt werden, beträgt der Verlust 0,53 bei dem Gefälle 4,11 a und 0,40 bei dem Gefälle 6,32 a; folglich tritt der Fall der gleichen Wirkung des ober- und unterschlächtigen Rades bei dem Gefälle von $4\frac{1}{2}$ Fuss ein. Dieses Resultat wird durch die Erfahrungen in Böhmen in der Art bestättiget, dass bei 5 bis 6 Fuss Gefälle wirklich schon die oberschlächtigen Räder den unterschlächtigen vorgezogen werden.

Hierbei wäre aber noch zu bemerken, dass die Wirkung der oberschlächtigen Räder noch dadurch vermehrt werden kann, wenn das Schützenwerk für den Einfluss des Wassers so gestellt wird, dass die Räder unterhalb nach derselben Richtung wie das abfliessende Wasser sich bewegen, folglich das Freyhängen erspart wird. Diese Betrachtung führt uns zu den sogenannten Kropfrädern. Bevor wir jedoch dieselben abhandeln, wollen wir, so wie es bereits bei unterschlächtigen Rädern hinsichtlich der Getreide-Mahlmühlen der Fall war, auch hier eine vorzügliche Anwendung der oberschlächtigen Räder, nämlich zur Betreibung der Bretsägen kennen lernen.

§. 312.

Einige Mühlenbaumeister waren der Meinung, dass der Widerstand, den das Holz der Säge entgegen setzt, nebst der Festigkeit oder Zähigheit des Holzes und den Abmessungen des Sägeschnittes nach seiner Länge, Breite und Tiefe, auch noch von der Geschwindigkeit, womit die Säge geführt wird, abhängig sey, so zwar, dass der Widerstand um so kleiner seyn soll, je grösser die Geschwindigkeit der Säge ist. Als Grund dieser Meinung hat man nicht nur die allgemeine Erfahrung angeführt, dass bei einem geschwindern Gang die Säge weiter vordringt, sondern sich auch noch auf das Beispiel der Kanonen- und Flintenkugeln beruffen, welche um so tiefer eindringen, je grösser ihre Geschwindigkeit ist. Dagegen ist aber zu bemerken, dass zur Hervorbringung einer grössern Geschwindigkeit der Kugel und der Säge auch eine grössere Kraft erforderlich sey; folglich der Kraft, welche die Säge treibt, hierdurch kein Vortheil zukommen kann.

Das Zerschneiden des Holzes mit einer Säge hat die grösste Aehnlichkeit mit der Reibung. Bei der letztern werden nämlich die hervorstehenden Theile abgerissen oder zurückgedrückt, welches auch bei dem Zerschneiden des Holzes mit der Säge Statt findet. Von der Reibung haben aber *Musschenbroek, Coulomb* und andere Physiker durch Versuche, die bei dem Drucke einiger Pfunde bis zu 25 Zentner angestellt worden sind, umständlich erwiesen, dass die Reibung nur dem gegenseitigen Druck der sich reibenden Flächen proporzional ist und durch die grössere oder geringere Geschwindigkeit, womit die Körper auf einander fortrücken, weder vermehrt noch vermindert werde.

An und für sich leuchtet wohl von selbst ein, dass die Säge nur diejenige Kraft zu gewältigen habe, womit die abzureissenden Sägespäne mit dem Sägeblock zusammenhängen; aber diese Kraft ist offenbar nur in der innern Beschaffenheit des Holzes zu suchen, und kann durch Anbringung einer äussern Kraft, welche diesen Zusammenhang zerstören will, weder vermehrt noch vermindert werden. In Betrachtung dieser Gründe dürfte der Satz, dass der Widerstand der Säge nur dem kubischen Inhalte oder der Breite, Dicke und Länge des Sägeschnittes proporzional sey, keinem Widerspruche unterliegen. Hieraus folgt, dass zur Bewirkung einer grössern durchzuschneidenden Länge, nebst der Höhe des Schnittes oder Stärke des Sägeblocks auch die Breite der Sägebahn oder die Weite der sogenannten Schränkung der Säge entgegenstehe. Das letzte wird durch unzählige Beispiele bestättiget, indem nicht nur geschärfte Messer leichter eindringen, sondern auch die härtesten Steine durch

dünne Drähte mit dazwischen gebrachtem Schmirgel geschnitten werden. In Hinsicht der Höhe des Sägeschnittes wird allgemein zugestanden, dass der Widerstand eines stärkern oder höhern Klotzes grösser ist, als eines schwächern; jedoch ist hierbei das Verhältniss, nach welchem nämlich der Widerstand von der Höhe vermehrt wird, noch zu untersuchen.

§. 313.

Belidor führt in seiner Hydraulik an, dass 3 Personen einen 12 Zoll dicken trockenen Stamm **Eichenholz** in einer Stunde auf eine Länge von 5 Fuss und einen andern Klotz, der nur 7 Zoll dick war, in derselben Zeit auf eine Länge von 17 bis 18 Fuss durchschnitten haben; demnach war die Schnittfläche im ersten Fall $5 \cdot {}^{12}/_{12} = 5$ Quad. Fuss, im zweiten Fall aber $17 \cdot {}^{7}/_{12} = 9{,}92$ Quad. Fuss, also der Effekt bei dem schwächern Holze beinahe doppelt so gross als bei dem stärkern. Obwohl *Belidor* über die innere Beschaffenheit der beiden Hölzer, das Alter, die Anzahl der durchschnittenen Jahresringe u. dgl. m. nichts angibt, demnach ein grosser Theil des angeführten Unterschiedes auf Rechnung dieser Umstände zu setzen seyn dürfte, so ist doch anderseits auch nothwendig zu bemerken, dass wenn an einem stärkern Klotze dieselbe Kraft angebracht wird, mit welcher ein schwächerer Klotz zerschnitten wurde, die gleiche Kraft in den stärkern Klotz nicht so weit eingreifen kann, als in den schwächern, dass demnach auch die Späne, welche bei dem Zerschneiden des stärkern Klotzes abfallen, verhältnissmässig kürzer oder kleiner seyn müssen als bei dem schwächern Klotze. Hieraus ist ersichtlich, dass die Späne, welche beim Zerschneiden des schwächern Holzes abfallen, bei dem stärkern Holze mehrmals zerschnitten oder wenn wir das Verhältniss der Höhe des stärkern zum schwächern Stamme wie 2 : 1 annehmen, bei dem stärkern eigentlich 2 mal zerschnitten werden müssen, sonach auch eine grössere Kraft erfordert wird. Daraus würde folgen, dass der nöthige Kraftaufwand beim Zerschneiden stärkerer und schwächerer Hölzer dem Quadrate der Höhe des Schnittes proporzional seyn würde. Dieses Verhältniss wird jedoch in dem angeführten Fall des *Belidor* nicht bestättigt, denn $7^2 : 12^2$ verhält sich wie 49 : 144 oder sehr nahe wie 1 : 3, wogegen die Fläche des Sägeschnittes im zweiten Falle nur doppelt so gross war. Hieraus erhellet, dass man Rechnungen über die Wirkung der Sägemühlen nur durch Versuche mit gleichem Holze und gleicher Höhe des Schnittes verlässig begründen könne. Indess kann doch das Flächenmaass aus der Länge und Höhe bei gleicher Breite oder Dicke des Schnittes zu einem beiläufigen Anschlage dienen.

Bei dem Zerschneiden der Bauholzstämme oder Latten u. dgl. durch Zimmerleute werden gewöhnlich 3 Personen verwendet, wovon ein Mann oben und zwei Mann unten stehen; die Säge wird vom ersten nach jedem Schnitte gehoben, und die beiden andern ziehen die Säge mit einem angemessenen Drucke wieder herab. Obzwar es das Ansehen hat, als ob der Schnitt in diesem Falle nur durch die Kraft der beiden untern Arbeiter bewirkt wird, so ist doch zu bemerken, dass das Gewicht der Säge, welches von dem obern Arbeiter allein gehoben wird, der Kraft der beiden untern Arbeiter beim Herabziehen der Säge zu Hülfe kommt, und dass die hierbei Statt findende Ungleichheit durch das Abwechseln der Arbeiter gänzlich ausgeglichen wird.

Wenn wir demnach das Bewegungsmoment eines Arbeiters mit $k \cdot c = 30 \cdot {}^{10}/_{3} = 100$ in Anschlag nehmen, so folgt, **dass mit dem Bewegungsmoment 300 von einem trockenen, 12 Zoll hohen Stamme Eichenholz in jeder Stunde eine Länge von 5 Fuss oder in der täglichen Arbeitszeit von acht Stunden Vierzig Quadratfuss Eichenholz durchschnitten werden.**

§. 314.

Da die meisten Bretsägen durch die Kraft des Wassers betrieben werden, und es darauf ankommt, das Bewegungsmoment verlässlich auszumitteln, womit in einer bestimmten Zeit eine gegebene Schnittfläche erzeugt werden kann, so wurde am 18ten Februar 1832 ein möglichst genauer Versuch dieser Art in der Seite 369 bereits beschriebenen *Wiskožil*'schen Mühle zu Prag angestellt. Neben dem Mühlgerinne mit zwei Rädern, worin die angeführten Versuche über das Getreidemahlen angestellt wurden, befindet sich ein zweites Gerinne, worin drei Wasserräder hinter einander stehen. Hiervon ist das erste Wasserrad so vorgerichtet, dass das Gehwerk der Getreidemühle ausgerückt und dagegen das Gehwerk einer Bretsäge eingeschoben werden kann. An dieser Bretsäge wurden nun die Versuche angestellt.

Da es nicht möglich war, die Höhe des Wasserstandes hinter dem ersten Wasserrade oder bei dem Ablaufe des Wassers vom ersten Rade zu messen, indem die Räder sehr nahe an einander stehen und das Wasser zwischen den Rädern sich in einer bedeutenden Wellenbewegung befindet, so wurde bloss die Breite und Tiefe des Wassers vor dem ersten Rade und hinter dem letzten Rade gemessen, die Geschwindigkeit des Wassers an beiden Orten bestimmt und hieraus das Bewegungsmoment aller drei Räder ausgemittelt. Die Division desselben mit 3 gibt das Bewegungsmoment eines Rades, da es aus vieljähriger Erfahrung bei dieser Mühle bekannt ist, dass ein jedes Rad eine gleiche Arbeit verrichtet. Die Höhe des Wasserstandes über der Hauptschwelle des Mühlgerinnes oder der Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel des Oberwassers und der Oberfläche der Hauptschwelle betrug an diesem Tage 3 Fuss $8^1/_4$ Zoll, die Höhe auf welche die Schütze aufgezogen wurde und durch welche sonach das Wasser einströmen konnte, war 2 Fuss $7^1/_2$ Zoll, dann die Breite der Oeffnung zwischen den Griessäulen 6 Fuss $^1/_2$ Zoll. Da die Hauptschwelle nicht in der Oberfläche des Unterwassers, sondern um 1 Fuss $2^1/_4$ Zoll niedriger gefunden wurde, so war die vorhandene Druckhöhe des Wassers über der Oberfläche des Unterwassers nur $(3'\,8^1/_4'') - (1'\,2^1/_4'') = 2'\,6'' = {}^{30}/_{12}$ Fuss, wie Seite 369. Hieraus ergibt sich die Wassermenge, welche zur Zeit des Versuches in einer Sekunde in das Gerinne einströmte

$$M = {}^2/_3 \cdot 0{,}633 \cdot \frac{72{,}5}{12} \cdot 2\sqrt{15{,}5}\left(\frac{30}{12}\sqrt{\frac{30}{12}} - \frac{12{,}75}{12}\sqrt{\frac{12{,}75}{12}}\right) + 0{,}633 \cdot \frac{72{,}5}{12} \cdot \frac{14{,}25}{12} \cdot 2\sqrt{15{,}5 \cdot \frac{30}{12}} =$$

$= 113{,}9$ Kub. Fuss. Die Geschwindigkeit, womit das Wasser in dem Gerinne vor dem ersten Rade ankommt, ist $= 2\sqrt{15{,}5 \cdot {}^{30}/_{12}} = 12{,}45$ Fuss. Bei dem Abflusse des Wassers hinter dem dritten Rade wurde die Breite des Gerinnes $= 6$ Fuss $3^1/_2$ Zoll und die Wassertiefe $= 2$ Fuss $10^1/_4$ Zoll gemessen. Hieraus ergibt sich die Geschwindigkeit v aus der Gleichung $113{,}9 = \frac{75{,}5}{12} \cdot \frac{34{,}25}{12} \cdot v$ und $v = 6{,}34$ Fuss. Das ganze Bewegungsmoment des Wassers, welches zur Betreibung der drei Räder verwendet wurde, betrug daher

$56{,}4 \,.\, 113{,}9 \left(\frac{12{,}45 - 6{,}34}{31}\right) 6{,}34 = 8027{,}3$, demnach das Bewegungsmoment des Wasserrades, womit die Bretsäge betrieben wurde = 2676, wofür wir die runde Zahl 2700 annehmen können.

Mit diesem Bewegungsmomente wurden nun folgende Arbeiten verrichtet:

I. Ein Klotz Tannenholz, welcher 2 Klafter 5 Fuss 6 Zoll Länge hatte, wurde in 15^Min.^ 15^Sek.^ wirklicher Arbeitszeit seiner ganzen Länge nach durchgeschnitten; die Höhe des Schnittes betrug 9 Zoll, demnach die Schnittfläche 13,125 N. Oe. Quadratfuss.

II. Derselbe Klotz Tannenholz wurde seiner ganzen Länge nach in 19^Min.^ 15^Sek.^ wirklicher Arbeitszeit an einem zweiten Orte durchschnitten, wo die Höhe des Schnittes 10,5 Zoll, demnach die Schnittfläche 15,313 N. Oe. Quad. Fuss betrug.

Der erste Versuch gibt 51,639, der zweite 47,729, demnach das Mittel von beiden 49,63 oder 50 N. Oe. Quad. Fuss Schnittfläche, welche von dem Bewegungsmomente 2700 in einer Stunde bei ununterbrochener Arbeit erzeugt wird. Weil jedoch das Zurückführen des Wagens und Verrücken des Stammes nach jedem Schnitte einen Stillstand verursacht, der dem zehnten Theile der wirklichen Arbeitszeit gleich kommt, demnach während jeder Stunde nur 54 Minuten wirklich gesägt und 6 Minuten auf die Bedienung der Maschine verwendet werden, so folgt aus den obigen Erfahrungen, dass mit dem Bewegungsmomente von 2700 binnen 1 Stunde 45 und in 24 Stunden 1080 N. Oe. Quad. Fuss Schnittfläche bei Tannenholze erzeugt wird. Demnach wird bei einem Bewegungsmomente 300 in 1 Stunde eine Fläche von 5 Quad. Fuss zerschnitten, welches mit der Erfahrung von *Belidor*, der für dieses Bewegungsmoment ebenfalls 5 Quad. Fuss ausmittelte, ganz genau übereinstimmt. Nur hatte *Belidor* die Erfahrung von trockenem Eichenholze angeführt, während bei unserm Versuche Tannenholz genommen wurde, welches in demselben Jahre geschlagen und auf der Moldau herbeigeschwemmt worden, folglich dem sogenannten grünen Holze gleich gehalten werden kann. Uibrigens ist bekannt, dass das grüne Holz sich leichter schneiden lasse, als das trockene, dass aber auch im Gegentheile das Eichenholz leichter geschnitten werde, als Tannen- und Fichtenholz, wodurch sich beide Holzgattungen in unserm Versuche und jenem von *Belidor* beinahe ausgleichen. Uiber unsern Versuch ist noch zu bemerken, dass im ersten Falle der 9 Zoll hohe Schnitt für jede Stunde eine Schnittfläche von 51,639 und der zweite 10,5 Zoll hohe Schnitt aber nur 47,729 Quad. Fuss gegeben hat, woraus abermals hervorgeht, dass die niedrige Höhe des Schnittes einen grössern Effekt als die grössere Höhe desselben gegeben hat, welches wieder mit den Erfahrungen von *Belidor* übereinstimmt.

H. Wiskočil gab uns noch folgende von ihm gemachte Erfahrungen an: 5 Stämme Eichen oder auch Kiefern werden in gleicher Zeit wie 4 Stämme Tannen oder Fichten (bei gleicher Schnittfläche) gesägt; inzwischen schneiden sich Fichten doch etwas schwerer wie Tannen, und Kiefern am leichtesten. Ahorn und Zwetschken (Pflaumen) schneidet sich wie Eichenholz, Linde schneidet sich auch schwer. Je trockener die Klötze sind, desto schwerer werden sie geschnitten; jedoch ist der Unterschied bei weichen Holzarten grösser, als bei harten.

Zur Vervollständigung unserer oben angeführten, am 18ten Februar 1832 über das Sägen von Tannenholz angestellten Versuche ist noch zu bemerken: die Dicke des Eisens im Sägeblatte war $^{3}/_{16}$ Zoll und die Breite des Schrankes, demnach die Breite des Sägeschnittes (Schnittbreite) $= 3\,^{1}/_{2}$ Linie. Das Wasserrad machte in 2 Minuten 13,5 Umdrehungen; an der Welle desselben war ein Stirnrad mit 66 Kämmen befestigt, welches in einen Drehling mit 18 Stöcken eingriff, an dessen Welle ein zweites Stirnrad mit 48 Kämmen befestigt war. Diess griff in ein Getriebe mit 10 Stöcken ein, an dessen Welle das Schwungrad und die Kurbel mit 15 Zoll Hubshöhe angebracht war.

Hieraus folgt die Anzahl der Umdrehungen der Kurbel oder die Anzahl der Sägeschnitte in einer Minute $= 6\,^{3}/_{4} \cdot {}^{66}/_{18} \cdot {}^{48}/_{10} = 118{,}8$ oder 120; es wurde daher jeder Schnitt in einer halben Sekunde, demnach das Herabgehen der Säge in $^{1}/_{4}$ Sekunde und das Aufheben derselben abermals in $^{1}/_{4}$ Sekunde verrichtet; die Tiefe des Eindringens bei jedem Schnitte, oder die Tiefe des Sägeschnittes war in dem ersten Versuche, wo die Höhe des Schnittes 9 Zoll betrug $= \dfrac{2^{0}\ 5'\ 6''}{15{,}25 \cdot 60 \cdot 2} = \dfrac{17{,}5 \cdot 12 \cdot 12}{15{,}25 \cdot 60 \cdot 2} = 1{,}38$ Linien und bei 10,5 Zoll Schnitthöhe im zweiten Falle $= \dfrac{17{,}5 \cdot 12 \cdot 12}{19{,}25 \cdot 60 \cdot 2} = 1{,}09$ Linien.

Hinsichtlich der **Geschwindigkeit des Sägens** hat die hierortige Erfahrung gezeigt, dass bei Kurbeln von 7,5 Zoll Halbmesser oder 15 Zoll Hubshöhe die Säge bei einem guten Gange sehr nahe zwei Schnitte in jeder Sekunde machen muss; geht sie nämlich geschwinder, so werden die Sägespäne nicht gehörig ausgeworfen, wieder mit zurückgezogen, nochmals zerschnitten und dadurch die Kraft unnöthig vermehrt; geht sie aber langsamer, so werden viele Späne von den Zähnen nicht gehörig abgerissen und gleiten längs der Säge herab, wodurch die Breter rauh bleiben, demnach keine glatte Oberfläche erhalten. Es benöthigt daher auch das Bretsägen eine **angemessene Geschwindigkeit**, wie wir es bereits bei dem Mahlen des Getreides gesehen haben.

§. 315.

Uiber das Bewegungsmoment, welches zum Sägen einer bestimmten Fläche erfordert wird, führen wir noch folgende Erfahrung an:

Auf der Herrschaft *Stiahlau* in Böhmen befindet sich eine Sägemühle, die von einem Kropfrade betrieben wird. Dieses Rad hat 14 Fuss im Durchmesser, die Höhe des Kropfes beträgt 4,7 Fuss, die Einfallshöhe des Wassers 2,8 Fuss. Das Wasserrad war von innen mit einem Boden und beiderseits mit Kränzen wie bei oberschlächtigen Rädern versehen, und weil dasselbe zu einem Versuche für die Wirkung der Kropfräder dienen sollte, so war es so genau in das Kropfgerinne eingepasst, dass nur wenig Wasser unbenützt durchkommen konnte. Durch mehrere Versuche wurde erwiesen, dass seine grösste Wirksamkeit nur bei der halben Geschwindigkeit des einfallenden Wasserstrahls Statt fand. Mit diesem Rade wurde eine Bretsäge betrieben; der Wasserzufluss unter der Schütze war 12,35 Kub. Fuss in jeder Sekunde oder 697 Pfund Aufschlagwasser. Die wirksame Wassersäule war sehr nahe 6 Fuss, demnach das Bewegungsmoment $697 \cdot 6 = 4182$. Mit diesem Momente wurde ein 14 Zoll hoher tannener Sägeklotz in der

Mitte bis auf eine Länge von 17,5 Fuss in 15 Minuten durchgeschnitten; die durchschnittene Fläche war demnach sehr nahe 20 Quadratfuss; diess gibt 80 Quadratfuss für eine Stunde. Da wir oben für das Bewegungsmoment 2700, die durchschnittene Fläche = 50 Quadratfuss bei ununterbrochener Arbeit gefunden haben, so gibt uns für denselben Fall die Proporzion 2700 : 50 = 4182 : x die durchschnittene Fläche x = 77,4 Quadratfuss Tannenholz. Die geringen Unterschiede lassen sich leicht aus der Verschiedenheit der Hölzer, der dabei verwendeten Maschinen u. s. w. erklären; wir können daher die obige Erfahrung als richtig annehmen.

§. 316.

Da die Bretsägen zu den am meisten in der Anwendung vorkommenden Maschinen gehören, so ist es erwünschlich, ausser den vorstehenden in Böhmen angestellten Erfahrungen und jenen von *Belidor* noch einige andere Erfahrungen hierüber anzuführen, um vorzüglich das Bewegungsmoment, welches zum Zersägen einer bestimmten Fläche Breter erfordert wird, bestimmen zu können. Herr *Egen*, welcher in seinen bereits angeführten „Untersuchungen über den Effekt einiger in Rheinland - Westphalen bestehenden Wasserwerke" mehrere schätzbare Untersuchungen über verschiedene Maschinen - Anlagen anführt, sagt Seite 168 seines Werkes, es sey ihm nicht möglich gewesen, den Kraftaufwand zu bestimmen, welcher zum Schneiden von einem Quadratfuss Breter erforderlich ist. Inzwischen wird Seite 169 angeführt, dass bei dem unterschlächtigen Rade zu *Laer*, welches eine Kraft von 12 Pferden konsumirte (verwendete?) in 12 wirklichen Arbeitsstunden 540 Quadratfuss Breter geschnitten wurden. Da die Anzahl der Pferdekräfte des Wasserrades in Prag $= \frac{2700}{400} = 6{,}75$ ist und hiermit in einer Stunde im Durchschnitt 50 Quadratfuss geschnitten werden, so ergibt sich die Schnittfläche, welche durch 12 Pferdekräfte in 12 wirklichen Arbeitsstunden erzeugt wird, aus der Proporzion 6,75 . 1 : 50 = 12 . 12 : x und x = 1067 Quadratfuss. Diess weicht zwar von der angeführten Fläche von 540 Quadratfuss bedeutend ab, wird jedoch dadurch aufgeklärt, dass dieses Rad nach der Erklärung des Herrn *Egen* bei einer unterschlächtigen Bauart beiläufig nur einen Nutzeffekt von 25 Prozent gebe. Demnach stimmt diese obgleich nicht hinlänglich genau angeführte Erfahrung mit unseren in Böhmen angestellten Beobachtungen doch einigermassen überein.

In dem Werke: „*Du Calcul de l'effet des machines, ou considérations sur l'emploi des moteurs et sur leur évaluation, par Coriolis, Paris* 1829" werden Seite 244 bis 262 mehrere Erfahrungen über die Kraft angeführt, welche zur Bewirkung verschiedener Arbeiten nothwendig ist. Um die Arbeit, die bewegende Kraft (*travail moteur*) oder einen Widerstand (*travail resistant*), welcher sich bei einer Maschine oder an einem bestimmten Punkte derselben äussert, auszudrücken, nimmt *Coriolis* zur Einheit das Gewicht von 1000 *Kilogrammes* (= 1785,676 N. Oe. Pfund) an, welche auf die Höhe von 1 *metre* (= 3,1635 N. Oe. Fuss) gehoben werden. Diese Einheit, welche auf N. Oe. Maass und Gewicht reduzirt 5648,986 oder in runder Zahl 5650 beträgt, nennt derselbe ein *dynamode*. Bei der Annahme dieser Einheit, welche das in unserm Werke als Einheit angenommene Bewegungsmoment (nämlich das Produkt aus der Anzahl der

bewegten Pfunde in die Geschwindigkeit oder den Raum während einer Sekunde) ersetzen soll, wird keine Zeitdauer angegeben, demnach jede Arbeit nur durch das Produkt der Anzahl Pfunde, welche getragen, aufgezogen···· werden, in den ganzen von dieser Last zurückgelegten Raum ausgedrückt.

Es leuchtet von selbst ein, dass die Annahme dieser Einheit nicht jene Bestimmtheit mit sich trägt, welche zur Beurtheilung der Leistung einer Arbeit oder einer Maschine hinreicht; denn wenn die Zeit, in welcher eine Last auf eine bestimmte Entfernung getragen wurde, nicht zugleich auch angegeben ist, so lässt sich in keinem Falle die Zweckmässigkeit der Verwendung der vorhandenen Kraft beurtheilen. Herr *Coriolis* scheint diess auch in einigen Fällen anerkannt zu haben, indem er bei einigen Arbeiten die Zeit, in welcher sie verrichtet wurden, mit anführt. So sagt derselbe Seite 255, dass die englische Pferdekraft nach *Watt*, wenn dieselbe für 8 Stunden berechnet wird, 2188 *dynamodes* beträgt. Nun nimmt aber *Watt* die Kraft eines Pferdes zu 180 engl. Pfund bei 3 engl. Fuss Geschwindigkeit, während 8 wirklichen Arbeitsstunden an. Wird diess auf N. Oe. Maass und Gewicht reduzirt und mit 5650 dividirt, so erhalten wir $\frac{180 . 0{,}8099 . 3 . 0{,}9642 . 8 . 3600}{5650} = 2149$ *dynamodes*, welches mit den von *Coriolis* angegebenen 2188 ziemlich übereinstimmt. Wäre auf gleiche Art bei den andern Arbeiten, welche in diesem Werke angeführt werden, die Zeit angegeben worden, so würde sich wahrscheinlich ebenfalls eine Uibereinstimmung mit unsern und andern Erfahrungen nachweisen, welches jedoch unter diesen Umständen nicht Statt findet.

Eine zweite Ursache, warum die Erfahrungen von *Coriolis* so schwer zu würdigen und zu gebrauchen sind, liegt in dem Umstande, dass derselbe die lebenden Kräfte der Thiere, des Wassers, Windes ·····, welche von der Geschwindigkeit des treibenden und getriebenen Körpers abhängen, von den todten Kräften, womit sich Gewichte bewegen, deren Wirkung von der Geschwindigkeit nicht abhängt, auf gleiche Art behandelt hat. Wenn nämlich ein Mensch mit der Geschwindigkeit von 2½ Fuss eine Last von 25 Pfund trägt, sonach in einem Tage den Raum $2{,}5 . 3600 . 8 = 72000$ Fuss zurücklegt, so ist sein 8stündiges Bewegungsmoment $25 . 72000 = 1800000$. Wird dieses mit der Grösse eines *dynamode* dividirt, so wäre seine tägliche Arbeit 319 *dynamodes*. Wir haben aber im I. Bande dieses Werkes Seite 15 gezeigt, dass derselbe Mensch mit 4 Fuss Geschwindigkeit nur 10 Pfund tragen kann. In diesem Falle ist sein täglicher Raum $4 . 3600 . 8 = 115200$ Fuss und sein 8stündiges Bewegungsmoment $115200 . 10 = 1152000$ und mithin wäre seine tägliche Arbeit nur 204 *dynamodes*. Wenn endlich derselbe Mensch mit 5 Fuss Geschwindigkeit gehen sollte, so könnte derselbe nichts tragen, weil sein Kraftvermögen von der Geschwindigkeit ganz erschöpft würde, folglich derselbe Mensch gar kein *dynamode* besitzt. Man sieht hieraus, wie unbestimmt und unzuverlässig ein solches Maass für die Schätzung der menschlichen und thierischen Arbeiten wäre. Dasselbe findet sich aber auch bei dem Wasser, denn wenn wir z. B. annehmen, dass 10000 Pfund Wasser sich mit der Geschwindigkeit von 10 Fuss gegen die Schaufeln eines unterschlächtigen Rades bewegen und dasselbe nöthigen, sich mit der Geschwindigkeit von 5 Fuss zu bewegen, so wäre der Druck an die Schaufeln, wie wir §. 265 gezeigt haben $= 56{,}4\ M \left(\frac{c - v}{2\,g}\right) = 10000 \left(\frac{10 - 5}{31}\right) = 1613$ und weil diese Last mit der Geschwindig-

keit von 5 Fuss bewegt wird, so wäre das Bewegungsmoment 1613 . 5 = 8065 oder 1,4 *dynamodes.* Wenn aber die Schaufeln mit 9 Fuss Geschwindigkeit ausweichen, so wäre der Druck an dieselben $10000 \cdot \frac{1}{31} = 322{,}6$ Pfund. Weil aber diese Last mit der Geschwindigkeit von 9 Fuss bewegt wird, so wäre ihr Bewegungsmoment 322,6 . 9 = 2903,4 oder 0,51 *dynamodes.* Diese Beispiele dürften hinreichen, um die Unanwendbarkeit eines solchen Maasses für die Berechnung der Arbeiten, die durch belebte Kräfte verrichtet werden, darzuthun. Wir werden demnach die Erfahrungen von *Coriolis* und andern Schriftstellern, wenn ihnen ähnliche Bestimmungen fehlen, nicht zu benützen im Stande seyn und wünschen nur, dass spätere Beobachter auf der Basis eines gründlichern Studiums die Wissenschaft mit jenen Erfahrungen bereichern möchten, die bis heut zu Tage noch bei so vielen Arbeiten fehlen, obgleich sie sowohl zur Anlage eines neuen als zur genauen Beurtheilung eines bestehenden Maschinenwerkes unumgänglich benöthigt werden.

§. 317.

Da wir in dem vorigen Kapitel die umständliche Darstellung und Beschreibung der Getreide-Mahl-Mühlen geliefert haben, so wollen wir nun auch dasselbe für Bretsägen thun. Wir haben zu diesem Behufe auf den Tafeln Nr. 62 und 63 eine in Böhmen bestehende, nach gewöhnlicher Art gebaute, durch ein oberschlächtiges Rad betriebene Bretsäge mit allem Detail dargestellt, und zugleich die wichtigsten neuern Konstrukzionen dieser Maschine beigefügt. Von der Bretsäge nach gewöhnlicher Bauart enthält Tab. 62, Fig. 1 den Grundriss, dann Tab. 63, Fig. 1 die Seitenansicht, Fig. 2 den Querdurchschnitt und Fig. 3 den Längendurchschnitt; ferner Fig. 4 bis 13 einzelne, zu dieser Maschine gehörige Theile im grössern Maasstabe. Tab. 62 Fig. 5 ist die Darstellung, wie die runden Stämme oder Klötze mittelst des Ganges der Säge aufgezogen werden, dann ist Fig. 6 der Mechanismus, wie die Bewegung der Säge erfolgt, besonders gezeichnet. Auf Tab. 62 ist Fig 2 die vordere Ansicht und Fig. 3 der Querdurchschnitt eines Sägegatters mit zwei Sägeblättern, welches ebenfalls bei einer Bretsäge in Böhmen aufgenommen wurde, dann Fig. 7 bis 10 die einzelnen dazu gehörigen Theile dargestellt. Endlich enthält Tab. 62 Fig. 4 die Ansicht eines nach englischer Bauart konstruirten eisernen Sägegatters mit 7 Sägeblättern.

Tab. 62 und 63.

Die Tab. 62, Fig. 1, dann Tab. 63, Fig. 1 bis 3 dargestellte Maschine wird durch ein oberschlächtiges Wasserrad von 2 Klafter 4 Fuss 9 Zoll im äussern Durchmesser, 15¾ Fuss im Theilrisse und 24½ Zoll Breite im Lichten in Bewegung gesetzt. Das Rad enthält 56 Zellen, deren Entfernung im Theilrisse $\frac{22 . 15{,}75 . 12}{7 . 56} = 10{,}6$ Zolle beträgt Sowohl das obere als das untere Freihängen des Rades beträgt 6 Zoll und der Wasserstand vor der Schütze 1 Fuss 10 Zoll, mithin ist das ganze bei dieser Mühle verwendete Gefälle $= 2^{o} 4' 9'' + 6'' + 6'' + 1' 10'' = 3^{o} 1' 7''$. Dieses Wasserrad legt nach der an Ort und Stelle gemachten Beobachtung eine Umdrehung in 4,3 Sekunden zurück. An der Welle desselben befindet sich ein Stirnrad von 2 Klafter 3 Zoll Durchmesser im Theilriss mit 120 Kämmen, welches in einen Drehling von 17 Stöcken eingreift, an dessen Welle die

Tab. 62 und 63. Kurbel, mittelst welcher die Säge gehoben wird, angebracht ist. Dem zufolge ist die Zeit eines Hubes der Säge oder die Dauer eines Sägeschnittes bei der aufgenommenen Bretsäge $= \frac{4{,}3 \cdot 17}{120} = 0{,}609$ Sekunden. Der Halbmesser der Kurbel ist 7,5 Zoll, demnach die Hubshöhe der Säge = 15 Zoll. Die Länge des Armes von der Säge bis zum Schiebzeuge (Tab. 62 Fig. 6) ist 1° 4′ 6″ = 126 Zoll, die Länge der Schere = 14 Zoll, der Halbmesser des eisernen Zahnrades = 15 Zoll, der Halbmesser des Drehlings am eisernen Zahnrade = 7 Zoll, die Zahl der Triebstöcke des Kumpfes, welcher in die Kämme des Wagens eingreift = 6, und jene der Kämme in dem darein greifenden Stirnrade = 40. Hieraus ergibt sich die Entfernung, um welche der Wagen und daher auch der darauf ruhende Klotz bei jedem Schnitte weiter gerückt wird $= \frac{15 \cdot 14 \cdot 7 \cdot 6}{126 \cdot 15 \cdot 40} = 0{,}12$ Zoll = 1,44 Linien. Die Klötze, welche auf dieser Säge geschnitten werden, haben 15 bis 24 Zoll im Durchmesser und 21 Fuss Länge. Die Breite der Oeffnung für das einströmende Wasser ist 2 Fuss, die Schütze wird 5 Zoll hoch aufgezogen und die Druckhöhe des Wassers oder der Abstand des Wasserspiegels vom Boden des Gerinnes ist 1 Fuss 10 Zoll. Unter diesen Umständen macht die Säge bei 15 Zoll starken und 21 Fuss langen Klötzen in 1260 Sekunden ununterbrochener Arbeit einen Schnitt oder schneidet in derselben Zeit eine Fläche von $21 \cdot \frac{5}{4} = 26{,}25$ Quad. Fuss weiches Holz durch. Dieses gibt für eine Stunde 75 Quad. Fuss. Wird für das Zurückdrehen des Wagens und Richten des Klotzes jedesmal 2 Minuten gerechnet, so werden mit dieser Kraft 63 Schnitte oder 1654 Quad. Fuss Schnittfläche in 24 Stunden gemacht.

Die in einer Sekunde zuströmende Wassermenge auf dieses Rad ist nach Seite 159 gleich $0{,}633 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\,(1{,}833\sqrt{1{,}833} - 1{,}417\sqrt{1{,}417})\; 2\sqrt{15{,}5} = 5{,}3$ Kub. Fuss. Da das Rad sich in 4,3 Sekunden herumdreht, so ist dessen Geschwindigkeit im Theilrisse, dessen Durchmesser 2° 3′ 9″ beträgt $v = \frac{22 \cdot 15{,}75}{7 \cdot 4{,}3} = 11{,}5$ Fuss, demnach haben wir zur Bestimmung der Höhe x des Wassers in den Zellen die Gleichung $5{,}3 = 11{,}5 \cdot \frac{24{,}5}{12} \cdot x$, woraus $x = 2{,}71$ Zoll. Die Wassermenge in jeder Zelle ist $\frac{5{,}3 \cdot 0{,}883}{11{,}5} = 0{,}407$ Kub. Fuss. Aus der

Fig. 14. Tab. 63. Höhe x der Anfüllung wurde nun der Winkel λ, bei welchem die Zellen auszugiessen anfangen, auf folgende Art berechnet. Die Fläche mnqt ist $= \frac{2}{3}\,mn \cdot nq$; wird hiervon die Fläche $mpn = \frac{1}{2}\,mn \cdot np$ abgezogen, so bleibt für den Inhalt der Zelle $\frac{2}{3}\,mn \cdot nq - \frac{1}{2}\,mn \cdot np$ übrig, welches $= nq \cdot x$ seyn muss. Daraus folgt

$$np = \frac{\frac{2}{3}\,mn \cdot nq - nq \cdot x}{\frac{1}{2}\,mn} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 10{,}6 - 10{,}6 \cdot 2{,}71}{\frac{1}{2}\;9} = 7{,}75 \text{ Zoll. Demnach ist}$$

$$\text{tang } mpn = \text{tang } \lambda = \frac{nm}{np} = \frac{9}{7{,}75} = 1{,}1613$$ und der Winkel $\lambda = 49°\ 16^{\text{Min.}}$ Der Winkel μ ist beinahe = 30 Grad.

Da der ausströmende Wasserstrahl 3 Zellen überschreitet, so ist $R \cdot \text{Sin } w = \frac{3 \cdot 10{,}6}{12}$, folglich $\text{Sin } w = \frac{2{,}65}{7{,}875} = 0{,}3365$ und der Winkel w ist $19°\ 40^{\text{Min.}}$ Demnach ist die wirksame Wassersäule für die obere Hälfte des Rades $R \cdot \text{Cos } w = 7{,}875 \cdot 0{,}9417 = 7{,}42$ Fuss.

Hierzu kommt noch die Höhe $\frac{c^2}{2 \cdot 4g} = \frac{3}{8}\{h+a+R(1-\text{Cos}\, w)\} = \frac{3}{8}(1{,}20+1+0{,}46) = 1{,}00$ Fuss zu addiren.

Die Veränderungen der Winkel λ und μ durch die Fliehkraft geben die Gleichungen (Seite 423), $\text{Sin}\, W = \frac{v^2 . \text{Sin}\, \lambda}{2g . R} = \frac{(11{,}5)^2 . \text{Sin}\, 49^\circ 16'}{31 . 7{,}875} = 0{,}4105$ und

$\text{Sin}\, W' = \frac{v^2 . \text{Sin}\, \mu}{2g . R} = \frac{(11{,}5)^2 . \text{Sin}\, 30^\circ}{31 . 7{,}875} = 0{,}2709$. Hieraus folgen die Winkel $W = 24^\circ\, 14^{\text{Min.}}$ und $W' = 15^\circ\, 43^{\text{Min.}}$ Demnach ist die Höhe des untern wasserhaltenden Bogens $= R . \text{Cos}\left(\frac{\lambda+\mu+W+W'}{2}\right) = 7{,}875 . \text{Cos}\, 59^\circ\, 36{,}5^{\text{Min.}} = 3{,}98$ Fuss und die ganze wirksame Wassersäule $\frac{c^2}{2.4g} + R \cdot \text{Cos}\, w + R \cdot \text{Cos}\left(\frac{\lambda+\mu+W+W'}{2}\right) = 1{,}00 + 7{,}42 + 3{,}98 = 12{,}4$ Fuss. Hieraus ergibt sich das Bewegungsmoment $= 56{,}4 . 5{,}3 . 12{,}4 = 3707$. Da mit diesem Momente bei ununterbrochener Arbeit in einer Stunde 75 Quad. Fuss weiches Holz geschnitten werden, so entfällt für ein Moment von 300 stündlich eine Schnittfläche von 6,1 Quad. Fuss, welches mit den Seite 435 und 437 angeführten Erfahrungen nahe übereinstimmt.

Nehmen wir aus diesen drei Erfahrungen das Mittel, so ergibt sich für das Moment von 300 die Fläche von 5,60 Quad. Fuss oder **für das Bewegungsmoment von 1000 die Schnittfläche von 18,7 N. Oe. Quad. Fuss, welche bei weichem Holze innerhalb einer Stunde erzeugt wird.** Diese Erfahrung kann nun bei der Anlage der Bretsägen, welche auf ähnliche Art, wie die nachstehend beschriebene eingerichtet sind, zum Grunde gelegt werden.

§. 318.

Nach dieser vorläufigen Uibersicht der Hauptdimensionen, des Ganges und der Arbeit der Bretsäge kommen wir zur ausführlichen Beschreibung aller einzelnen Theile derselben, welchem wir die Konstrukzion oder Bauart dieser Theile, dann das Verfahren beifügen werden, mittelst welchem an einer solchen Bretsäge Umänderungen vorgenommen werden, wenn die Maschine wegen Verschiedenheit der Klötze, welche geschnitten werden sollen, oder wegen der stattfindenden Betriebskraft anders eingerichtet werden muss. Tab. 62 und 63.

Das Wasser zum Betriebe des Rades wird mittelst des **Gerinnes** oder **Wandtroges** A (Fig. 1 und 3, Tab. 63) zugeleitet; diess Gerinne wird aus 3 Zoll starken weichen, besser aber aus eichenen Pfosten hergestellt, die mittelst Zwingen a, a····· zusammengehalten und durch Keile, welche in die absichtlich etwas grösser gelassenen Oeffnungen der Riegel eingetrieben werden, so fest verbunden, dass es ganz wasserdicht ist. Eine jede dieser Zwingen besteht aus 4 Theilen, nämlich einer Schwelle, worauf zugleich das Gerinne ruht, aus 2 Säulen zur Seite und einem obern Querriegel aus 6 Zoll im Quadrate starken weichem oder harten Gehölz. Die Schwelle kann jedoch etwas stärker seyn und muss zu beiden Seiten des Gerinnes vorragen, damit die Säulen in derselben stehen können und auch ein wenigstens 6 Zoll langer Kopf zur Verhinderung des Aufspaltens beim Eintreiben der Keile übrig bleibt. Weil diese Gerinne in den

Tab. 62 und 63. Ecken am schnellsten faulen und dann daselbst das Wasser auslassen, so pflegt man in diese Ecken ein nach der Figur derselben aus einem 6 Zoll starken Holze ausgezimmertes Stück Eichenholz einzulegen, welches dann eine weit längere Dauer gewährt.

Gerade über dem Scheitel des Wasserrades befindet sich die Schütze b, mittelst welcher das Wasser in der erforderlichen Höhe auf das Rad gelassen wird. Die Schütze läuft in dem Wandtrog vor zwei an denselben genagelten Leisten und der in ihrer Mitte befindlichen Aufzugleiste durch den Holm c; sie wird mittelst einiger eiserner Ringe an den Hebel d befestigt, und durch ihn aufgezogen. Die Schütze selbst besteht aus einer einfachen Lage 1½ Zoll dicker Breter, welche an die Aufzugleiste und an zwei andere 2 Zoll von den Seitenrändern entfernte Bretstücke von 4 Zoll Breite mittelst hölzerner vorn und hinten verkeilter Nägel befestigt sind. Man pflegt den letztern gegen die eisernen, welche im Wasser leicht rosten, den Vorzug zu geben. Hinter der Schütze befindet sich eine Klappe e, welche mit der Schütze zugleich aufgezogen und herabgelassen wird; sie dient die Oeffnung für das Aufschlagwasser zuzudecken, wenn dasselbe bei herabgelassener Schütze über die letztere hinweg und in dem Gerinne weiter fortfliesst.

Gegen das Ende dieses Gerinnes befindet sich eine zweite Klappe f, welche mittelst eines Hebels g aufgezogen und dadurch das Wasser auf ein kleines Rad C gelassen werden kann, durch dessen Umdrehung der Wagen der Bretsäge zurückgedreht wird.

§. 319.

Unter dem Gerinne befindet sich in der Wasserradstube das oberschlächtige Wasserrad B von 2 Klafter 4 Fuss 9 Zoll im äussern Durchmesser; dasselbe hat einen 9 Zoll breiten Kranz und 56 Zellen. Der Kranz ist aus doppelten, zusammen 4 Zoll breiten Felgen von Eichenholz zusammengesetzt, wovon die innern beiläufig ¼ Zoll wegen dem Einlarven (Einsetzen) der Schaufeln stärker als die äussern sind; sie werden mittelst hölzerner Nägel, deren sich zwei Paar zwischen je zwei Schaufeln oder in jeder Zelle befinden, auf die gewöhnliche Art verbunden. Die Schaufeln werden, wie bei s′ Fig. 8 Tab. 63 zu sehen ist, ¼ Zoll tief in die Radkränze eingelarvt; die Riegelschaufeln r′ stehen senkrecht auf der Peripherie des Rades und reichen bis zum Theilriss, welcher sich auf ein Drittel der Breite des Kranzes befindet; sie sind aus ¾ Zoll starken weichen Bretern verfertigt und jede erhält zwei runde Zapfen, mittelst welcher sie in die Löcher q in den Radkranz eingesetzt werden. Die Setzschaufeln w′ sind so eingesetzt, dass sie mit der Peripherie des Rades einen Winkel von 30 Grad bilden; sie sind von ½ Zoll starken weichen Bretern verfertigt, erhalten keine Zapfen, und werden, wenn die Kränze schon zusammengesetzt sind, bloss in die Einlarvung eingeschoben und sowohl an die Riegelschaufeln als an die Kränze, nämlich an jede mit 2 eisernen Nägeln, wie Fig. 7 und 8 zeigt, angenagelt. Der innere Boden des Rades ist aus ½ Zoll starken weichen Bretern zusammengefügt, welche nach Fig. 7 mit eisernen Nägeln an die Radkränze befestigt werden.

Der Kranz ist an die Arme mittelst des sogenannten Schämels befestigt; dieses ist ein 8 Zoll breites und 4 Zoll hohes Stück Eichenholz, welches nach Fig. 9 für die Arme ausgelocht, mit 4 eisernen Ringen beschlagen und mittelst zweier Zapfen an jedem

Ende nach Fig. 7 und 8 mit dem Radkranze verbunden wird. Er ist hinten mit dem innern Boden bündig und der innere Zapfen entspricht in der Seitenansicht Fig. 8 den Bodenbretern. In die zwei Oeffnungen des Schämels werden die Arme des Wasserrades von 7 Zoll Breite und 4 Zoll Stärke eingelegt und verkeilt. Diese Arme (Schlossarme genannt) umfassen die Welle und werden daselbst nach Fig. 7 und 8 in einander eingeschnitten. Die Welle selbst, welche an ihrem übrigen Theile rund zugezimmert ist, wird an der Stelle, wo sie die Arme umfassen, achteckig abgezimmert, darauf 4 Stück Klötze u′ aufgelegt, und etwas eingelassen, wie Fig. 8 zu sehen ist, endlich aber mittelst der Keile k″ sowohl die Arme gehörig befestigt, als auch bei dem Einhängen des Radkranzes dort, wo es nöthig ist, dergestalt nachgeholfen, damit die Peripherie mit der Achse der Welle vollkommen konzentrisch werde. Tab. 62 und 63.

Aus Fig. 1 Tab. 63 ersieht man, dass der ganze Radkranz aus 8 Felgen besteht, wovon die innern Fugenschnitte durch scharfe Linien, die äussern aber durch punktirte Linien angedeutet werden. Aus derselben Zeichnung ersieht man auch die Eintheilung der Felgennägel, welche mit den doppelten Felgenlagen und den übrigen bereits angegebenen Theilen dem ganzen Rade die hinreichende Festigkeit geben. Wir bemerken daher nur noch, dass bei einem grössern Durchmesser des Rades die freiliegende Felge zwischen den äussern Theilen der Arme zu lang wird und in der Mitte durch 8 andere Arme unterstützt werden müsste, welche auf einen zwischen die Fig. 1 dargestellten Arme, eingelassenen Wechsel aufgezapft sind.

Die Wasserradswelle (Fig. 1, Tab. 62) ist von Eichenholz, 21 Zoll stark und liegt mit den 4½ Zoll langen und 3 Zoll starken Zapfen auf metallenen Zapfenlagern, welche einerseits in dem Angewelle E, anderseits aber in einem grossen Eichenklotz F eingelegt sind. Das Angewelle ist dergestalt eingerichtet, dass durch Herausnahme der Keile h die zwei anliegenden Hölzer weggenommen, und das Zapfenlager, wenn es auf einer Seite ausgelaufen ist, entweder gewendet, oder sonst was immer für eine Reparatur an diesen Theilen vorgenommen werden kann. Der Eichenklotz F dient als feste Unterlage für die beiden sich gegenseitig von einander drückenden Haupträder der Maschine, nämlich des Stirnrades und des Drehlings, von welchen die Welle D des letztern noch nebstdem bedeutende Erschütterungen zu erleiden hat.

Das Stirnrad G, welches unmittelbar an der Wasserradswelle befestigt ist, hat 2 Klafter 2 Zoll im Durchmesser des Theilrisses und 120 doppelte Kämme mit 3⅚ Zoll Theilung. Es muss sehr fest gebaut seyn, da es eine bedeutende Kraft auszuüben hat. Sein 9 Zoll breiter Kranz besteht aus 3 Felgenlagen von Eichenholz, welche zusammen 9 Zoll dick sind; die Kämme sind von Buchenholz, 3 Zoll lang, 1⅙ Zoll dick und 3⅙ Zoll sammt Backen breit, der runde durchgehende Kammstiel ist aber 1⅙ Zoll dick und verjüngt sich etwas nach unten. Es betragen daher die Backen der Kämme auf jeder Seite ¾ Zoll, und die Löcher für die beiden Kammreihen sind in der Mitte 1½ Zoll von einander entfernt, so dass die Kämme daselbst ganz aneinander anschliessen. Die ganze Peripherie des Stirnrades bilden 6 Felgen, deren Schnitte, dann Eintheilung der Felgennägel aus Fig. 3, Tab. 63 zu ersehen sind; die innern und hintern in dieser Zeichnung nicht sichtbaren Felgenschnitte werden abwechselnd so eingetheilt, dass kein

Tab. 62 und 63. Schnitt einen Arm treffe. Die Kammstiele, welche durch den Kranz gehen, bekommen an der innern Seite einen hölzernen Vorschlagnagel, welcher das Herausfallen derselben verhindert. Die 6 Paar Arme dieses Rades sind von Eichenholz paarweise durch die Radwelle gesteckt, 4 Zoll dick und 6 Zoll breit; sie stehen in der Mitte des Kranzes wegen des bessern Anziehens $^1/_2$ Zoll von einander und werden an die äussern Seiten desselben $^1/_2$ Zoll tief eingelarvt und mit einem Schraubennagel angezogen. In der Welle werden die Arme mit Keilen, welche an den äussern Seiten der Arme stehen, befestigt.

Das Stirnrad greift in einen Drehling von Gusseisen mit 17 Stöcken. Dieser ist weit dauerhafter und hat einen sicherern Gang, als die gewöhnlichen Drehlinge, Getriebe und Kumpfe von Holz. Er wird an die daselbst sechseckig gezimmerte Welle mittelst Keilen befestigt, wie Fig. 3, Tab. 63 zu ersehen ist.

Hart an diesem Drehlinge steht das Schwungrad H, welches zur Bewirkung der gleichförmigen Bewegung bei dem Auf- und Niedergehen der Säge wegen dem ungleichen hierbei statt findenden Widerstand immer vorhanden seyn muss. Es hat 6 Fuss 8 Zoll im äussern Durchmesser, besteht aus zwei zusammen 9 Zoll breiten Felgenlagen von dem schwersten vom Wurzelende der Eichenstämme genommenen Holze; der Kranz ist 8 Zoll breit und wird so wie Fig. 3 zeigt, zusammengesetzt und genagelt. Die Arme sind hier so wie bei dem Stirnrade G eingelegt, nur dass solche nicht ganz einen Zoll vor dem Kranze vorstehen, um bei ihrer Bewegung der Luft keine so grosse Querschnittsfläche darzubiethen.

§. 320.

Die Kurbel ist sammt dem daran befindlichen Bleiel in der Radwelle (Fig. 9 Tab. 62) von Schmiedeisen. Damit solche durch die schnelle Bewegung nicht aus ihren Lagern gehoben werde, ist sie mittelst einer Zwinge i (Fig. 2, Tab. 63) zugedeckt, welche auf zwei in dem eichenen Block F feststehende Zapfen aufgesetzt und mit Keilen befestigt wird. An der Kurbel befindet sich der hölzerne mit Eisen beschlagene Lenker J, welcher an dem Sägegatter K bei k befestigt ist und durch die Bewegung der Kurbel das Hinauf- und Herabgehen des Sägegatters hervorbringt. Die deutliche Zeichnung des Lenkers, sammt einem ebenfalls in Böhmen ausgeführten, etwas verbesserten Beschläge sieht man Fig. 2 u. 3 Tab. 62. Der Lenker ist ganz von Eichenholz 4 Zoll breit und verglichen 3 Zoll dick. Seine Kappenbeschläge sind oben und unten mit Schrauben angezogen und die Drehung geschieht zwischen zwei metallenen Zapfenlagern, welche zum Herausnehmen eingerichtet, bei m und n in der Seitenansicht, bei l aber in der obern Ansicht dargestellt sind. Der Lenker muss übrigens so lang als nur immer möglich gemacht werden, weil sodann wegen seiner mehr senkrechten Richtung an der Leichtigkeit der Bewegung offenbar gewonnen wird. Das Sägegatter K ist aus weichem, 5 Zoll breiten und eben so dicken Holz zusammengefügt, jedoch wird dem obern und untern Riegel, zwischen welchen die Säge gespannt ist, eine etwas grössere Breite gegeben. Diese Riegel haben Zapfen, welche durch die Seitenhölzer ganz durchgehen und liegen nebstdem noch oben und unten auf zwei Untersatzeln o Fig. 2 auf, welche aus einem Stück mit den Seitentheilen dergestalt verfertigt sind, dass die schwächern Theile bei der Bearbeitung mit der Hacke abgehauen werden.

In der Mitte zwischen dem obern und untern Riegel ist die Säge Q an eisernen Bolzen gespannt, welche durch eiserne an den hölzernen Querriegeln befestigte Bügel durchgesteckt und mit Schrauben scharf angezogen sind. Die Konstrukzion der eisernen Bügel ist am besten in Fig. 2 und 3 Tab. 63 zu ersehen; sie endigen sich in zwei Schraubenbolzen, welche durch ein Unterlageisen gesteckt und alsdann mittelst zweier Schraubenmuttern angespannt werden. Die Bügel haben dort, wo die Säge durchgeht, einen Schlitz. In diesen Bügeln ist nun die Säge auf 1 oder 2 eisernen, 3/4 Zoll dicken Bolzen eingehängt, zu welchem Zwecke in das Sägeblatt Löcher geschlagen werden. Um das Verrücken der Bügel an den hölzernen Riegeln zu verhindern, werden dieselben entweder etwas in das Holz eingelassen, oder einige kleine Keile, wie Fig. 2 Tab. 62 zu sehen ist, unter sie geschlagen. Das Gewicht des Sägegatters muss immer so gross gemacht werden, damit der Widerstand bei dem Hinauf- und Herabgehen der Säge gleich sey, zu welchem Zwecke dasselbe nöthigenfalls mit aufgelegten eisernen Platten beschwert wird. Tab. 62 und 63.

Das Sägegatter lauft zwischen den 10 Zoll breiten und 10 Zoll dicken Gattersäulen p, welche nach der Stärke des Gatters ausgehöhlt und das letztere an erstere mittelst der Vorsatzdaumen r angehalten wird. Durch diese Daumen gehen starke Schraubenbolzen, welche zugleich auch die Gattersäulen an zwei andere zwischen dem Zimmerwerke des Gebäudes befestigte 10 Zoll im Quadrate starke Säulen q anhalten. Damit das Sägegatter sich leichter zwischen den Gattersäulen bewege, ist solches nächst den Vorsatzdaumen von den 3 Seiten, wo es sich reibt, und eben so auch die Gattersäulen an dieser Stelle an zwei Seiten mit hartem Holze ausgefüttert, wie Fig. 2 Tab. 62 zu sehen ist. Diese Ausfütterung ist so hoch, als der Hub der Säge es erfordert, steht beiläufig 1/4 Zoll vor, kann, wenn sie mehr abgenützt ist, wieder neu ersetzt und muss stets mit Seife eingeschmiert werden. Die Säulen q sind in dem obern und untern Tram mit Zapfen versetzt, und damit solche bei der bedeutenden Erschütterung dennoch stehen bleiben, sind sie von unten noch durch einen besondern Tram t (Fig. 2 Tab. 63) unterstützt und an den obern Tram mittelst vorgesteckter Keile dergestalt gut befestigt. Diese Befestigung ist nämlich so hergestellt, dass alle 3 genannten Träme sich nur gemeinschaftlich schwingen können, demnach auch alle Schwingungen bedeutend vermindert werden.

§. 321.

Der Wagen, worauf der Klotz, welcher geschnitten werden soll, ruht, besteht aus den untern Strassenbäumen L, den obern Strassenbäumen M, dem Richtschämel N, Ruheschämel O und Kammbaum P.

Die untern Strassenbäume L sind 7 Zoll breite und 5 1/2 Zoll hohe nach der ganzen Länge des Gebäudes gestreckte weiche Hölzer, welche 2 Zoll tief in die darunter befindlichen Sturzträme des Gebäudes eingelassen sind. Da solche selten aus einem einzigen Stücke bestehen, so geschieht die Zusammensetzung ihrer einzelnen Theile immer auf einem solchen Tram, jedoch so, dass nicht beide Strassenbäume auf einem Trame zusammengefügt werden. An ihrer obern Seite sind sie mit einer 3 Zoll breiten und 3/8 Zoll dicken, in das Holz eingelassenen Eisenschiene belegt, welche mit eisernen Nägeln, deren Köpfe ebenfalls versenkt sind, befestigt werden.

Tab. 62 und 63. Die **obern Strassenbäume** M, haben dieselben Dimensionen wie die untern, doch sind sie kürzer und bestehen immer nur aus einem Stücke. Sie sind immer auf 2 Fuss 6 Zoll Entfernung ausgehöhlt und daselbst mit eisernen **Laufrädchen**, die nach unten ¾ Zoll vorstehen müssen, versehen. Diese Laufrädchen, welche Fig. 12 und 13 Tab. 63 im Durchschnitt und der Seitenansicht dargestellt sind, werden mit eisernen Schraubenbolzen, in welchen sie sich zugleich drehen, befestigt. Werden daher die obern Strassenbäume auf die untern aufgelegt, so können die erstern und somit der ganze Wagen mit grosser Leichtigkeit hin- und herbewegt werden.

Der **Richtschämel** N, ist ein nach Fig. 4, Tab. 63 ausgezimmertes 15 Zoll breites, 12 Zoll hohes und 4 Fuss 2 Zoll langes weiches Holz. Er umfasst die obern Strassenbäume von zwei Seiten, lässt sich auf selben hin- und herschieben und wird immer nach der Länge des zu schneidenden Klotzes gestellt, alsdann aber mit seitwärts eingetriebenen Keilen u Fig. 5 befestigt. Auf dem Richtschämel liegt ein anderes Holz x, welches 2 Fuss 10 Zoll lang, 6 Zoll hoch, 7 Zoll breit und gewöhnlich von Eichen ist; dasselbe wird vorne nach der Gestalt des Klotzes etwas ausgehöhlt und seitwärts an der obern Seite mit zwei Klammern versehen, welche mit ihren Spitzen in den Klotz eingeschlagen werden, um ihn fest zu halten. Dieser Klotz muss nach jedem vollbrachten Schnitte um die Stärke des Brettes verrückt werden und dennoch sehr fest liegen. Zu diesem Zwecke wird der Klotz x durch das Eisen w (Fig. 4 und 5) mit einem oder auch zwei Keilen v fest angehalten, welche sehr leicht herausgeschlagen und wieder eingetrieben werden können.

Der **Ruheschämel** O ist von weichem Holze, aber höher und breiter als der Richtschämel und besteht daher meistens aus zwei Stücken, die mit 2 Schrauben y (Fig. 6) zusammengehalten werden. Das grössere Stück ist 4 Fuss 2 Zoll lang, 17 Zoll hoch und 14 Zoll breit, umfasst die obern Strassenbäume von 2 Seiten und ist mit ihnen unverrückbar mittelst einer Schraube, welche in Fig. 6 punktirt zu sehen ist, verbunden. Das kleinere Stück ist eben so lang, 8 Zoll hoch und 7 Zoll breit, oben mit einem starken Eisenblech beschlagen, auf welches der zu schneidende Klotz immer mit dem Stammende, nachdem dieses zuvor etwas flach gehauen ist, gelegt wird. An der obern Seite des Richtschämels wird die Gabel z, welche mit 2 oder drei Spitzen versehen ist, mittelst dreier aus der Zeichnung Fig. 1, Tab. 62 und Fig. 6, Tab. 63 zu ersehender Eisen fest gehalten. Sie bewegt sich darin leicht hin und her und wird mittelst eines darunter geschlagenen Keiles nach Erforderniss festgestellt. Die an ihrem vordern Ende befindliche Nase dient sie zurückschlagen zu können, wodurch der untere Keil gelockert wird. Dieses Befestigen und wieder Zurückschlagen der Gabel geschieht nach jedem vollbrachten Schnitte, weil alsdann der Klotz auf dem Ruheschämel jedesmal so wie bei dem Richtschämel um die Bretstärke verrückt und wieder befestigt werden muss. Zur leichteren Verrückung des Klotzes trägt der früher erwähnte Blechbeschlag bei, und die Befestigung des Klotzes geschieht mittelst der am hintern Ende der Gabel befindlichen 2 oder auch 3 messerförmigen Spitzen, welche in den Klotz eingetrieben werden. Diese Gabel ist aus der Ursache gespalten, damit bei jedesmaliger Verrückung des Klotzes, die Säge sich ausserhalb dem Klotze zwischen den Zinken derselben bewegen könne, zu welchem Zweck auch der Ruheschämel um die ganze Breite der Säge und um so viel als der Klotz auf ihn aufliegt, durchgeschnitten werden muss.

§. 322.

Damit die beiden oberen Strassenbäume nicht auseinander weichen, müssen selbe an ihrem hintern Ende mittelst des Riegels a′ (Fig. 1, Tab. 62) verbunden werden, welches durch Verzapfung und Einschlagung hölzerner Nägel geschieht. An dem vordern Ende wird diese Verbindung durch die in dem Ruheschämel befindliche Schraube bewirkt, indem die in beiden Theilen des Ruheschämels vorhandenen Zapfen mehr zur bessern Haltbarkeit der in der Mitte getrennten Theile desselben, als zum Zusammenhalten der Strassenbäume dienen. Tab. 62 und 63.

Der Kammbaum P (Fig. 3, Tab. 63) ist ein 6 Zoll hohes und 4 Zoll breites Stück Eichenholz in gleicher Länge mit den obern Strassenbäumen. Er ist mit 3¾ Zoll langen, 2½ Zoll breiten, 1⅙ Zoll dicken und 3¾ Zoll von einander entfernten Kämmen von Buchenholz versehen. Die Kammstiele desselben gehen durch, und sind an ihrer obern Seite mittelst kleiner durchgesteckter Keile vor dem Zurückfallen gesichert. Dieser Kammbaum ist mit denselben Schraubenbolzen befestigt, welche die Laufrädchen halten, und er bildet längs des ganzen Wagens einen vorstehenden Falz, welcher nebst den beiden Gattersäulen, zwischen welchen er ebenfalls genau durchgeht, verhindert, dass der Wagen von der ihm vorgeschriebenen Bahn abweiche. Zur Verminderung der Reibung muss der Kammbaum dort, wo er an die untern Strassenbäume anliegt, dann die Gattersäulen dort, wo der Wagen durchgeht, gut eingeseift werden; es ist jedoch vortheilhafter, den Kammbaum mit einer Eisenschiene und die untern Strassenbäume sammt Gattersäulen mit Frikzionsrädchen nach Art der Laufrädchen zu versehen.

Der Hauptzweck des Kammbaumes ist, den Wagen weiter zu schieben; diess geschieht durch die in denselben eingreifende Ziehwelle b′. Dieselbe ist von Eichenholz, hat 8 Zoll im Durchmesser und bildet unterhalb dem Kammbaume einen Kumpf von 8 Stöcken, welcher in die Kämme des Kammbaumes genau eingreift. Die Ziehwelle liegt in metallenen Zapfenlagern, welche im Gebäude in einem zwischen 2 Sturzträmen mittelst Zapfen und eisernen Bügeln befestigten Trame, in der Wasserradstube aber in einem gewöhnlichen Angewelle eingelassen sind. Bei schweren Klötzen ist es jedoch vortheilhaft an jedem Strassenbaume einen Kammbaum anzubringen, zu diesem Behufe die Ziehwelle mit zwei Kumpfen zu versehen und dadurch eine gleichförmige Bewegung des Wagens zu bewirken.

Beinahe in der Mitte der Ziehwelle b′ befindet sich das Ziehstirnrad c′ von 4 Fuss 2 Zoll Durchmesser im Theilriss. Es hat 40 einfache, 3 Zoll lange, 2½ Zoll breite und 1⅙ Zoll dicke Kämme mit 3¾ Zoll Theilung; der Kranz desselben besteht aus 2 eisernen Felgenlagen, die zusammen 3¾ Zoll dick und 5½ Zoll breit sind; es hat 4 Durchsteckarme von Eichenholz und seine Bauart ist fast ganz dieselbe, wie jene des Stirnrades G.

Das Ziehstirnrad c′ greift in einen Drehling d′ mit 9 Stöcken, an welchem nebstbei eine Handkurbel und eine eiserne Zahnscheibe e′ angebracht ist. Dieser Drehling ist ganz von Eichenholz gebaut und seine Konstrukzion aus Fig. 10 und 11 Tab. 63 zu ersehen. Er besteht nämlich aus zwei Scheiben von 19 Zoll Durchmesser und 2¼ Zoll Dicke zusammen. Hiervon ist die äussere etwas stärker und es wird in dieselbe die eiserne Zahnscheibe e′ aufgesetzt und ihre vorstehenden vier Lappen in dieselbe einge-

Tab. 62 und 63. lassen; sodann wird die zweite innere Scheibe darüber gelegt und beide mit 4 Schraubenbolzen, welche durch die Lappen der Zahnscheibe gehen, zusammengezogen. An die äussere Peripherie werden alsdann zwei eiserne Reife angetrieben und für die Triebstöcke viereckige Löcher eingestemmt. Auf der andern Seite des Getriebes befindet sich ein Bret von 1⅓ Zoll Dicke und bloss 1 Fuss im Durchmesser, an dessen Peripherie runde Löcher für die Triebstöcke durchgeschlagen werden. Diese runden Löcher werden an ihrem Umfange in etwas durch einen um die Peripherie der Scheibe getriebenen eisernen Reif abgeschnitten, und eben so wird der runde Zapfen der Triebstöcke gegen den Reif etwas abgespalten, damit bei dem fertigen Getriebe die äussere Seite der Triebstöcke mit dem Reife bündig liege. In der Mitte beider Scheiben ist eine viereckigte Oeffnung durchgeschlagen, welche von 4 Stück ¼ zölligen Futterbretchen zwischen den Scheiben fortgesetzt wird; in diese Oeffnung wird die Spindel von Schmiedeeisen, welche an dieser Stelle viereckig ausgeschmiedet ist, gesteckt, und mit Keilen befestigt. Die Triebstöcke, welche nach dem obigen an einem Ende mit runden, am andern Ende mit viereckigen Zapfen versehen seyn müssen, werden alsdann durch die viereckigen Löcher der grössern Scheiben und mit den runden Zapfen in die kleinere Scheibe hineingesteckt, sodann aber beiderseits gut verkeilt. Auf eben die Art werden auch neue Triebstöcke statt den abgenützten alten eingelegt. Die an der Spindel befindliche Handkurbel dient, den Wagen auf kleinere Distanzen zu bewegen, wenn solches nämlich durch das an der Ziehwelle befindliche kleine Wasserrad C nicht füglich geschehen kann.

Dieses kleine Wasserrad C hat den Zweck, den Wagen nach jedesmaligen vollbrachtem Schnitte zurück zu schieben. Weil nämlich in diesem Falle das grosse Wasserrad ausser Wirksamkeit tritt, indem die Säge nicht schneidet, so fällt das Wasser über die Schütze des grossen Rades und der Bretschneider lässt solches, sobald er das Rückgehen des Wagens wünscht, durch Aufhebung der Klappe f auf das kleine Rad fallen. Die Bauart dieses kleinen Wasserrades ist beiläufig so, wie jene des grossen Rades B, nur fällt das Wasser verkehrt auf, um das Zurückdrehen zu bewirken; übrigens hat dieses Rad nur wenig Kraft auszuüben, daher auch seine Bauart von keiner besondern Wichtigkeit ist. In Fig. 1 Tab. 63 ist die Konstrukzion desselben ersichtlich, wobei die punktirten Linien die äussern Felgenschnitte und dann den durch die Welle durchgesteckten Arm andeuten, welcher letztere in die äussere Felge beiläufig ¼ Zoll tief eingelarvt und mit zwei Schraubenbolzen befestigt wird. Die Aufhebung der Klappe f in dem Gerinne geschieht durch den Hebel g, dessen zweites Ende in das Gebäude hineinreicht, und durch dessen Herabdrücken die Klappe ohne besonderem Kraftaufwande gehoben wird.

§. 323.

Die bisherige Erklärung und die Zeichnungen, vorzüglich aber Fig. 6 Tab. 62, wo die verschiedenen Standpunkte der Säge durch punktirte Linien angedeutet sind, zeigen, wie der Wagen, worauf der zu sägende Klotz ruht, durch Umdrehung des Ziehrades und des dazu gehörigen Getriebes mit der Zahnscheibe weiter geschoben wird. Damit nun diese Operazion die Säge selbst verrichten könne, ist das sogenannte Zuschiebezeug nothwendig. Dieses besteht aus der Klaue f', der Schere g', der Zuschiebwelle

b' und dem Arme i'. Man sieht aus Fig. 6 wie durch das Wasserrad das an derselben Welle befestigte Stirnrad, hierdurch der Drehling sammt Schwungrad und der Kurbel umgedreht und auf diese Art der Lenker sammt dem daran befestigten Sägegatter auf- und abwärts bewegt werde. Die Zeichnung stellt die Kurbel in ihrer niedrigsten Lage dar, wogegen die punktirten Linien den Arm i', der mit dem Sägegatter, woran er befestigt ist, gehoben wird, in der obersten Lage darstellen. Durch dieses abwechselnde Heben und Herabdrücken des Armes i' wird die Zuschiebwelle h' hin- und hergedreht und die an selbe befestigte Schere g' hin- und hergeschoben. Die an die Schere befestigte Klaue f' hat eine gleiche Bewegung und schiebt dadurch das eiserne Zahnrad e' immer weiter, dessen Rückgehen durch einen einfallenden Sperrkegel (Fig. 3, Tab. 63) gehindert wird. Man sieht nun leicht ein, wie durch die Umdrehung des eisernen Zahnrades das Stirnrad c' mittelst des an das Zahnrad befestigten Getriebes umgedreht, von diesem Stirnrade aber die Ziehwelle b' sammt dem daran befindlichen Kumpf, welcher endlich in die Zähne des Kammbaumes P eingreift, und hierdurch der Wagen sammt dem aufruhenden Klotze während dem Schneiden fortwährend und gleichförmig bewegt oder der Säge zugeführt wird.

Tab. 62 und 63.

Das Zuschiebezeug wird ausser dem Arme i' grösstentheils aus Eichenholz verfertigt; man pflegt die Arme i' und f' nur 2 bis 3 Zoll stark, die Zuschiebewelle 5 Zoll im Durchmesser und die Schere g' vier Zoll im Quadrate zu machen. Die Schere erhält mehrere Löcher, in welchen die Klaue mit einem eisernen Vorstecknagel gehalten und nach Erforderniss höher oder niedriger gestellt werden kann, je nachdem der Wagen mehr oder weniger schnell bewegt werden soll. Die Bestimmung, um wie viel der Klotz bei jedem Schnitte der Säge zugeführt werden soll, hängt von der Dicke und Härte des zu sägenden Klotzes, dann von der vorhandenen Wasserkraft ab. Je weniger der Wagen vorrückt, desto weniger Holz hat die Säge bei jedem Schnitte abzureissen, mit desto geringerer Kraft kann sie daher bewegt werden.

Gewöhnlich lässt man den Klotz zwischen $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{4}$ Zoll bei jedem Schnitte vorschieben. Ein tieferer Schnitt als $\frac{1}{4}$ Zoll ist wohl nur bei sehr grosser Hubshöhe der Säge von etwa 20 bis 30 Zoll thunlich, weil sonst die Breter durch das gewaltsame Abreissen dicker Späne zu rauhe Oberflächen erhalten. Um die Länge der Schere für jede gegebene Grösse der Zuschiebung zu finden, haben wir $g' = i' \cdot \frac{b' \cdot c' \cdot z'}{K \cdot k' \cdot d'}$; hierin ist g' die Länge der Schere vom Mittelpunkte der Welle bis an den Punkt, wo der Vorstecknagel die Klaue hält, i' die Länge des Armes zwischen dem Sägegatter und der Welle h', c' die Zahl der Kämme im Ziehstirnrad, b' die Grösse der jedesmaligen Zuschiebung, z' der Durchmesser des Zahnrades, K die Hubshöhe der Säge, d' der Durchmesser des Getriebes und k' die Zahl der Stöcke im Kumpfe an der Ziehwelle. Auf gleiche Art gibt $e = \frac{K \cdot g'}{i'}$ die Entfernung der Zähne am eisernen Zahnrade.

§. 324.

Zur Erzielung eines gleichförmigen Ganges der Säge und eines durchaus gleichen und glatten Sägeschnittes, ist es von Wichtigkeit, die Säge an der Zahnseite nicht ganz

Tab. 62 und 63. vertikal, sondern auf die stattfindende Hubshöhe immer um die Grösse der Zuschiebung mit dem obern Theile überhängend zu machen. Z. B. bei 15 Zoll Hubshöhe, ⅛ Zoll Zuschiebung und 5 Fuss Höhe der ganzen Säge, wie es bei der durch die Zeichnung dargestellten Sägemühle der Fall ist, muss die durch die Zahnspitzen bis an die beiden Aufhängspunkte verlängerte Linie oben um ½ Zoll überhängen oder vom Perpendikel abweichen; hierdurch wird erzielt, dass alle Zähne zu jeder Zeit gleich stark arbeiten.

Die Säge muss ferner auch geschränkt seyn, d. h. die Zähne derselben müssen abwechselnd zu beiden Seiten ihrer Breite etwas vorstehen, damit der Sägeschnitt breiter wird und die Säge leichter durchgehe. Dieser Schrank ist gewöhnlich = ⅕ Zoll, bei neuen Sägen = ¼ Zoll, bei bereits sehr abgeschliffenen Sägen = ⅛ Zoll. Je kleiner er seyn kann, d. h. je dünner die Säge ist, desto weniger Kraft wird zur Bewegung derselben erfordert, allein dünne Sägeblätter, welche zugleich die hinreichende Festigkeit haben, fordern auch das beste Eisen zu ihrer Verfertigung.

Bei jeder Säge muss die Einrichtung getroffen werden, dass der Wagen nach vollendetem Schnitte nicht mehr weiter geschoben und dadurch vielleicht der Richtschämel zerschnitten werde, wenn nicht etwa der Aufseher der Maschine gegenwärtig ist und den Klotz für den neuen Schnitt zurückschiebt. Gewöhnlich geschieht diess dadurch, dass an das im Gebäude befindliche Ende des Hebels d, an dessen andern Ende die Schütze angehängt ist, eine Schnur mit einer kleinen hölzernen Schiene l′ (Fig. 2 Tab. 63) befestigt wird. Diese Schiene hat unten ein Loch, mit welchem sie an einem in der Säule q feststeckenden Nagel angehängt wird, ½ Zoll über diesem Nagel befindet sich aber ein Loch, das durch die Säule q und durch die Gattersäule p durchgeht; in diesem steckt ein locker laufender Pflock, welcher etwas länger gemacht wird, als die Dicke von p und q zusammen beträgt. Sobald nun die Schiene l′ angehängt und dieser Pflock von hinten eingesteckt wird, so dringt er bis an die Schiene l′ und steht noch etwas vor; an denselben stösst nun das Eisen m′ (Fig. 1 Tab. 62) des Richtschämels N, wenn dieser bis an das Sägegatter angekommen ist, und drückt ihn an die Schiene l′, wodurch letztere von dem feststeckenden Nagel abgehoben und durch die Last der am obern Ende hängenden Schütze hinaufgezogen wird. Durch diese aufwärtsgehende Bewegung von d wird zugleich der darauf ruhende Stab n′ (Fig. 3, Tab. 63) gehoben, an welchem die Klaue f′ mittelst eines Seiles angebunden ist, zugleich mit ihm in die Höhe geht, und daher nicht mehr in die Zähne des Zahnrades eingreifen kann. Weil aber durch denselben Mechanismus auch die Schütze herabfällt, so läuft das Wasser nicht mehr auf das grosse oberschlächtige Rad, sondern fällt über die niedrige Schütze, läuft im Gerinne fort und wird nach Erforderniss zum Zurückdrehen des Wagens auf die bereits angeführte Weise benützt. Es versteht sich übrigens von selbst, dass das Seil, an welchem die Schiene l′ gebunden ist, in seiner Länge genau mit dem nothwendigen Hube der Schütze übereinstimmen muss, damit solche immer auf die gehörige Höhe aufgezogen sey.

Zur Ableitung der herabfallenden Sägespäne dient das Sägespändach U (Fig. 2 Tab. 63) durch welches der Lenker mittelst eines Einschnittes durchgeht. Man pflegt diesen Einschnitt mit Leinwand zu verhängen, um das Herabfallen der Sägespäne auf die Kurbel und in das Zapfenlager zu vermeiden. Weil aber demungeachtet Sägespäne

durchfallen, so wird aus dem Wassergerinne mittelst kleiner Rinnen ein kleiner beständig zufliessender Wasserstrahl auf den Zapfen der Kurbel geleitet, wodurch alle Sägespäne abgespült werden und zugleich auch die Erhitzung des Zapfens in dem Lager bei der bedeutend schnellen Umdrehung vermieden wird. Man leitet zu gleichem Zwecke auch auf die andern Zapfen solche kleine Wasserstrahlen zu. Tab. 62 und 63.

§. 325.

Das Gebäude, worin eine Bretsäge aufgestellt wird, muss so hergestellt werden, dass alle Theile hinlängliche Unterstützung haben und das Innere desselben vor Regen und Wind geschützt sey. Da Bretsägen meistens in waldigten Gegenden errichtet werden, so pflegt man hierbei nur den untern Bau von massivem Mauerwerke herzustellen und darauf einen hölzernen, mit einzölligen Bretern verschalten Oberbau nach den vorliegenden Zeichnungen aufzusetzen. Von R bis S (Fig. 1 Tab. 62) darf jedoch wegen der Aufwälzung der Klötze weder eine Verschalung noch eine Verriegelung Statt finden. Das obere und untere Stockwerk des Gebäudes wird mit 1½ Zoll starken Bretern gedielt und die Kommunikazion zwischen beiden durch die hölzerne Stiege T erzielt. Für die Zähne des Kammbaumes sind sowohl die obere Dielung als auch die Sturzträme etwas ausgeschnitten.

Die Gattersäulen stehen immer in der Mitte des Gebäudes und dieses muss doppelt so lang als die längsten Klötze seyn, welche auf dieser Maschine geschnitten werden sollen. Der Wagen wird nur 4 bis 5 Fuss länger gemacht, als die längsten Klötze messen.

Hinsichtlich der Abänderungen, welche die Sägemühlen bei der beschriebenen Bauart erfordern, ist noch folgendes zu bemerken. Sind die Klötze länger oder kürzer, so wird bloss erfordert, den Wagen und das Gebäude in diesem Verhältnisse zu verlängern oder zu verkürzen; sind die Klötze von härtern Holz, so lässt man den Wagen bei jedem Schnitte weniger zuschieben; sind aber die Klötze stärker, z. B. 3 bis 4 Fuss oder noch mehr im Durchmesser, so müssen die Sägeblätter länger und die Hubshöhe der Säge vergrössert werden. Die grössere Hubshöhe erzielt man durch die Vergrösserung der Kurbel, welche bis zu 15 Zoll im Halbmesser gemacht werden kann. Bei einem solchen stärkern Klotze wird man dann mit Rücksicht auf die vorhandene Wasserkraft der Zuschiebung die gehörige Einrichtung geben. In jedem Falle hat man darauf zu sehen, dass die Säge die gehörige Geschwindigkeit behalte, worüber das nothwendige bereits Seite 436 angeführt wurde, indem es offenbar unzweckmässig wäre, hierin eine Aenderung vorzunehmen.

Noch haben wir einer Vorrichtung zu erwähnen, mittelst welcher die zu schneidenden Klötze durch die Bewegung der Säge von dem äussern Boden oder aus dem Wasser in das Mühlgebäude aufgezogen werden: dieselbe ist Fig. 5 Tab. 62 dargestellt. Durch die Bewegung des Sägegatters K wird nämlich eine Schiene o′ bis in die durch die Punktirung angedeutete Lage gehoben; diese Schiene steckt in der Welle p′ fest, in welcher nebstdem die doppelte Schere q′ q′ befestigt ist. Durch die Bewegung der Schiene o′ wird nun die Welle p′ gedreht und mit ihr auch die Schere q′, welche die in ihr befestigten zwei Klauen r′ r′ wechselweise vorschiebt und zurückzieht, wodurch

Tab. 62 und 63. das eiserne Zahnrad s' immer weiter geschoben und beide Seile, in welchen der Klotz hängt, immer mehr und mehr auf den aus Latten verfertigten horizontal liegenden Korb aufgewunden werden. Dieser Korb ist mit dem Zahnrade s' auf ähnliche Art wie bei dem Getriebe e' (Fig. 10 und 11, Tab. 63) verbunden, und hat 10 bis 15 Fuss Länge; an jedem Ende desselben wickelt sich ein Seil auf, in welchem der Klotz hängt, der auf diese Art auf der schiefen Fläche immer mehr und mehr aufgezogen wird.

§. 326.

Hat man mehr Wasserkraft, als zur Betreibung einer Säge erfordert wird, so kann man in demselben Gebäude, welches zu diesem Zwecke breiter angelegt wird, zwei Sägen aufstellen, deren jede für sich arbeitet. Zu diesem Behufe bringt man entweder an der eichenen Welle D zu jeder Seite eine Kurbel an, oder man lässt das Stirnrad G in einen Drehling von jeder Seite eingreifen, während die übrige Maschinerie dieselbe bleibt.

In einem solchen Falle ist es jedoch zweckmässiger, eine Säge mit zwei oder mehreren Blättern zu versehen, als mehrere Sägen, deren jede zugleich nur einen Schnitt macht, in demselben Gebäude aufzustellen. Man hat in diesem Falle nicht bloss den Vortheil, dass man nur das Räderwerk für eine Säge und ein schmales Gebäude bedarf, folglich an Anlagskosten erspart, sondern man gewinnt auch dadurch, weil der Widerstand der Reibung bei einer Säge mit zwei oder mehr Blättern beinahe derselbe bleibt, während er im Verhältnisse der Anzahl Sägen zunimmt, wenn jede nur mit einem Blatte versehen ist.

Fig. 2 und 3, dann 7, 8 und 10, Tab. 62 enthalten die Details einer in Böhmen im vorigen Jahre aufgestellten Bretsäge mit zwei Blättern, mit deren Erfolg man vorzüglich zufrieden war. Die Spannringe, in welche die Sägeblätter hierbei eingespannt werden, sind oben und unten gleich gestaltet. Sie bekommen dort, wo sie die Sägen aufnehmen, eine hufeisenförmige Form (Fig. 7) und sind an ihrem unteren Ende mit einem Querstabe $\alpha\,\beta$ (Fig. 8) verbunden, welcher nebst den 4 Stellschrauben γ auch noch 4 seichte Einschnitte δ enthält, in welche die ¾ Zoll starken Bolzen ε gelegt werden, auf welchen die Sägeblätter (Fig. 10) mittelst der darin durchgeschlagenen Löcher aufgehängt werden. Zwischen beide Sägeblätter wird oben und unten ein Klötzel ν (Fig. 2) von hartem Holze und der Stärke der zu schneidenden Breter eingelegt und diese alsdann mit den Stellschrauben γ fest angezogen. Die Sägeblätter können von jedem Schmiede an beiden Enden leicht in die Form Fig. 10 gebracht werden, welche sie beim Ankaufe gewöhnlich nicht haben. Man pflegt ein Blatt mit 3 oder 4 Löchern zu versehen, um es sodann auf eben so viele Bolzen aufzuhängen. Beim Durchschlagen der Löcher durch die Sägeblätter muss auch zugleich auf das Uiberhängen der Säge Rücksicht genommen werden.

Uiber dem Spannringe befindet sich eine Warze μ (Fig. 8) und 2 andere Stellschrauben $\eta\,\eta$, deren Zweck darin besteht, den Spannring gegen jede horizontale Verschiebung an den Riegeln des hölzernen Gatters zu sichern. Der obere Spannring endet sich nach oben in zwei Schrauben λ, auf welche, nachdem selbe durch das Unterlegei-

sen ϱ gesteckt worden, die Muttern aufgesetzt und die Sägeblätter ganz schraff angezogen werden können. Der untere Spannring endet sich in eine Gabel, in welcher mittelst einer Schraube nach Fig. 2 und 3 der Lenker festgehalten wird. Bei Veränderung der Sägen müssen jedesmal zuerst die Stellschraubeu η und γ, und dann die Ziehschrauben λ nachgelassen werden, worauf nach Bedarf stärkere oder schwächere Klötze ν eingelegt, oder auch die Sägeblätter ausgewechselt werden können. Tab. 62.

Fig. 4, Tab. 62 ist die Darstellung eines nach englischer Art konstruirten eisernen Rahmens, worin sich ein ebenfalls eisernes Gatter mit 7 Sägeblättern auf- und abbewegt. Der Hauptrahmen muss in dem Gebäude immer hinreichend befestigt seyn; an denselben sind 4 genau abgedrehte und gut polirte schmiedeiserne Zylinder a b befestigt, an welchen das Sägegatter A B C D mit den eingespannten Sägeblättern sich auf- und abbewegt. Die Bewegung desselben geschieht mittelst einer Kurbel, welche an der eisernen Welle E F befestigt ist. An derselben Welle befindet sich das gusseiserne Getriebe, welches bei den englichen Bretsägen, wie wir bereits Seite 415 anführten, unmittelbar durch das Wasserrad mittelst der an seinem Umfange angegossenen Zähne in Bewegung gesetzt wird. Eine solche Bretsäge, deren nach Seite 413 bereits im Jahre 1829 auch mehrere in der Schweitz aufgestellt waren, besteht daher aus einem Wasserrade und einem darüber befindlichen Getriebe, an dessen Welle so gleich die Kurbel nebst dem Schwungrade befestigt ist. Es leuchtet von selbst ein, dass diese Konstrukzion bei der grössten Einfachheit auch noch eine bedeutende Verminderung der Reibung des Sägegatters in dem Rahmen bezweckt. Uiberdiess gewähren Bretsägen mit mehreren Sägeblättern den wesentlichen Vortheil, dass sie bei einer Anlage an Flüssen, wo der Wasserstand sich häufig ändert, nach Massgabe der jedesmal vorhandenen Kraft mit einer oder mehreren Sägeblättern gehen können, wogegen Bretsägen mit einem Sägeblatte bei höherem Wasserstande zwar etwas schneller arbeiten, aber doch bei weitem nicht die jedesmalige Kraft immer gehörig benützen können. Fig. 4.

Nach diesen Gründen wird es begreiflich, wie die Eigenthümer solcher nach englischer Art gebauter Sägen mit mehreren Blättern behaupten können, dass sie nach der Umbauung ihrer Sägen wenigstens 2 mal so viel Breter in einem Jahre erzeugen, als es früher der Fall war.

§. 327.

Wir haben in der vorhergehenden Abhandlung die Regeln angegeben, nach welchen die grösste Wirksamkeit der oberschlächtigen Wasserräder und das grösste Quantum ihrer Arbeit erzielt werden kann. Da jedoch die meisten bisher bestehenden oberschlächtigen Mühlen und andere durch die Kraft oberschlächtiger Räder betriebene Werke ohne Kenntniss dieser Regeln erbaut wurden und in dieser Hinsicht von dem Maximum ihrer Wirksamkeit mehr und weniger entfernt sind, so handelt es sich noch um eine Vorschrift, wie die wirklich bestehenden oberschlächtigen Wasserwerke zu beobachten, Verbesserungen derselben anzugeben, und der Grad der Wirksamkeit einer jeden Aenderung vorläufig auszuweisen sey, um hiernach sowohl die Verbesserungen zu würdigen, als auch das Verhältniss des hierzu erforderlichen Aufwandes im voraus beurtheilen zu können.

Wir haben gezeigt, dass die Arbeit einer jeden Maschine dem Bewegungsmomente proporzional ist, welches von derselben hervorgebracht wird. Bei oberschlächtigen Rädern ist dieses Bewegungsmoment gleich dem Produkte aus dem Gewichte des hierbei in jeder Sekunde verwendeten Aufschlagwassers und der wirksamen Wassersäule. Die letztere hängt wieder von dem Unterschiede der Geschwindigkeiten des einfallenden Wassers und des Rades und dann hauptsächlich von der Höhe des wasserhaltenden Bogens sowohl in der obern als untern Hälfte des Rades ab. Die Wassermenge, welche auf das Rad geleitet wird, lässt sich an Orten, wo nur ein Rad betrieben wird, schon aus dem Wasserzuflusse in den Zuleitungsgräben und Mühlgerinnen auf die bekannte Art messen. Da jedoch diese Wassermenge nur sehr selten zur Betreibung eines einzelnen Rades verwendet wird, so geschieht diess bei jedem Rade am verlässigsten aus der Bemessung des Wasserstandes vor der Schütze und aus der Breite und Höhe der Oeffnung, welche nach der aufgezogenen Schütze dem Wasser zum Ausflusse eröffnet wird. Da dieser Gegenstand bereits an mehreren Orten dieses Werkes umständlich behandelt wurde, so haben wir nicht nöthig, hierüber noch eine besondere Anweisung anzuführen.

Die Höhe der wirksamen Wassersäule für die obere Hälfte des
Fig. Rades, nämlich $R . Cos\,w$ ergibt sich am leichtesten aus folgender Berechnung. Es
9. Tab. sey die Höhe des Wasserstandes ober der Mitte der Ausflussöffnung, welche sich bei je-
61. dem im Gange befindlichen Mühlenrade ohne Anstand bemessen lässt, $HK = h$, so ist die Geschwindigkeit des Ausflusses $= 2\sqrt{g . h}$. Der Ort, wo der Wasserstrahl in die äussere Peripherie des Rades einfällt, sey D und der Winkel $ACD = w$, der Halbmesser des Rades $AC = R$, so ist $BD = R . Sin\,w$ und $BC = R . Cos\,w$. Die Zeit, in welcher das Wasser den Raum $HJ = BD$ zurücklegt, wollen wir t nennen, so ist $BD = R . Sin\,w = t . 2\sqrt{g . h}$, und weil das Wasser in derselben Zeit durch die Höhe $JD = HB$ herabfällt, so ist $t = \sqrt{\frac{HB}{g}}$. Setzen wir nun den Raum von der Mitte der Oeffnung bis zur äussern Peripherie des Rades $HA = a$ und $AB = z = R - R . Cos\,w$, so ist $t = \sqrt{\frac{a+z}{g}}$. Wird nun dieser Werth in die obige Gleichung an die Stelle von t gesetzt, so ist $BD = R . Sin\,w = 2\sqrt{h\,(a+z)}$, folglich $BD^2 = R^2 . Sin^2\,w = 4h\,(a+z)$ oder $R^2\,(1 - Cos^2\,w) = 4a . h + 4h . R - 4h . R . Cos\,w$. Wird diese Gleichung geordnet, so haben wir $R^2 . Cos^2\,w - 4h . R . Cos\,w = R^2 - 4h . R - 4a . h$. Wird hier zu beiden Seiten der Gleichung $4h^2$ hinzugesetzt, so haben wir $(R . Cos\,w - 2h)^2 = (R - 2h)^2 - 4a . h$. Daraus folgt die gesuchte Höhe der wirksamen Wassersäule in der obern Hälfte des Rades $R . Cos\,w = 2h + \sqrt{(R - 2h)^2 - 4a . h}$.

Bevor wir von dieser Gleichung einen Gebrauch machen, wollen wir noch folgende Bemerkungen voraus schicken. **1tens:** Wäre die Wasserstandshöhe vor der Schützenöffnung $h = 0$, so ist $R . Cos\,w = R$ und $w = 0$, folglich die Höhe der wirksamen Wassersäule zwar die grösstmögliche, allein da in diesem Falle das Wasser senkrecht auf die Peripherie des Rades herabfallen würde, folglich das Rad nicht in Bewegung setzen könnte, so erhellet die Unbrauchbarkeit dieser Annahme von selbst. **2tens:** Wäre a oder das sogenannte obere Freihängen des Rades $= 0$, so ist aber-

mals $R \cdot Cos\, w = 2h + R - 2h = R$. Aber auch dieser Antrag kann desshalb nicht Statt finden, weil die kreisförmige Peripherie des Rades nicht gestattet, den Punkt D des einfallenden Wasserstrahles unmittelbar vor die Mitte der Ausflussöffnung zu setzen. 3tens: Wäre endlich $\frac{(R-2h)^2}{4h} = a$, so ist $R \cdot Cos.\, w = 2h$, folglich die Höhe der wirksamen Wassersäule in ihrer Art die kleinste. Fig. 9. Tab. 61.

Hieraus ist ersichtlich, dass in jedem Falle das Freihängen des Rades a kleiner als $\frac{(R-2h)^2}{4h}$ seyn muss. Mit Rücksicht auf diese Bemerkung ist $\sqrt{(R-2h)^2 - 4a.h} = R - 2h - \frac{2a.h}{R-2h}$, und die Höhe der wirksamen Wassersäule $R \cdot Cos\, w = R - \frac{2a.h}{R-2h}$, demnach ist der Verlust an der obern wirksamen Wassersäule $R - R.Cos\, w = z = \frac{2a.h}{R-2h}$. Hieraus sehen wir, das R in jedem Falle grösser als 2 h seyn müsse, und dass der Verlust an der Höhe um so kleiner ist, je kleiner a angenommen wird. Es ist demnach für die bestmögliche Benützung des Wassers bei einem oberschlächtigen Rade nothwendig, das Freihängen des Rades a möglichst klein zu machen.

§. 328.

Wir wollen unsere Rechnung auf die Seite 439 beschriebene oberschlächtige Bretsäge zu einem Beispiele anwenden. Die Höhe des Wasserstandes über dem Boden des Gerinnes war daselbst = 1 Fuss 10 Zoll, die Schütze wurde 5 Zoll hoch aufgezogen, demnach ist h = 1 Fuss $7{,}5$ Zoll. Das obere Freihängen war 6 Zoll und wenn wir noch hierzu den Abstand bis zur Mitte der Ausflussöffnung mit $2{,}5$ Zoll addiren, so ist $a = 8{,}5$ Zoll. Der äussere Halbmesser des Rades war R = 8 Fuss $4{,}5$ Zoll $= 8{,}375$ Fuss, mithin $R \cdot Cos\, w = 3{,}25 + \sqrt{26{,}2656 - 4{,}6042} = 7{,}904$ Fuss.

Dieselbe Gleichung, welche für die äussere Peripherie des Rades gefunden worden, gilt auch für den Theilriss und jeden andern Bogen innerhalb des Radkranzes, wenn wir nur statt a die Höhe von der Mitte der Ausflussöffnung bis zur Peripherie dieses Kreises setzen. Bei der obigen Bretsäge war der Theilriss 6 Zoll unter der äussern Peripherie des Rades, mithin $a = 14{,}5$ Zoll und der Halbmesser $R' = 7{,}875$ Fuss, demnach $C\,B' = R' \cdot Cos\, w' = 3{,}25 + \sqrt{21{,}3906 - 7{,}8542} = 6{,}929$ Fuss.

Werden beide berechneten Werthe C B und C B′ aufgetragen, und die horizontalen Linien B D und B′ D′ zu ihren zugehörigen Peripherien gezogen, so geben die beiden Punkte D und D′ die Richtung des einfallenden Strahles an und man würde hieraus sehr leicht berechnen können, ob und wie viel der Winkel, den der Wasserstrahl mit der innern Peripherie des Rades bildet, von dem gegebenen $\mu = 30$ Grad abweicht. Da sich jedoch eine jede vorgefundene Differenz sehr leicht durch Erhöhung oder Erniedrigung des Wasserstandes H K beheben lässt, und auch bei den meisten Mühlwerken schon behoben angetroffen wird, so wollen wir nun noch zur Bestimmung der unbedeutenden Höhe, welche wegen der Geschwindigkeit des einfallenden Wasserstrahles der obern Säule $R' \cdot Cos\, w' = 6{,}929$ Fuss hinzuzusetzen ist, übergehen.

Fig. 9. Tab. 61. Diese Wassersäule ist, wie wir bereits früher gesehen haben $= \frac{(c - v)\, v}{2g}$. Die Geschwindigkeit c, mit welcher das Wasser in den Theilriss des Rades einfällt, wird durch die Seite 418 abgeleitete Gleichung $c = 2 \,\text{Cos}\, \mu \sqrt{(h + a + z)\, g}$ bestimmt. Da h und a gegeben sind und $z = R' - R' . \text{Cos}\, w'$ gefunden wurde, dann der Winkel μ, welchen die Setzschaufeln mit der Peripherie machen, ebenfalls bekannt ist, so unterliegt die Berechnung dieses Werthes keinem Anstande. Wir haben nämlich in unserm Falle $\mu = 30$ Grad, $h = 1{,}625$ Fuss, $a = 14{,}5$ Zoll und $R' = 7{,}875$ Fuss, folglich $z = R' - R' . \text{Cos}\, w' = 7{,}875 - 6{,}929 = 0{,}946$ Fuss. Demnach ist die Geschwindigkeit des einfallenden Wasserstrahles $c = 2 \sqrt{3/4} \cdot \sqrt{15{,}5\,(1{,}625 + 1{,}208 + 0{,}946)} = 13{,}256$ Fuss. Die Geschwindigkeit v, womit das Rad sich bewegt, lässt sich am leichtesten aus der Umlaufszeit des Rades berechnen. Man erhält nämlich die Geschwindigkeit v des Rades, wenn die Peripherie $2\pi . R' = {}^{44}/_{7}\, R'$ mit dieser Umlaufszeit dividirt wird. Die Peripherie des Theilrisses ist in unserm Falle $^{22}/_{7} . 15{,}75 = 49{,}50$ Fuss. Beträgt nun die Umlaufszeit des Rades 4,3 Sekunden, so ist die Geschwindigkeit desselben $v = \frac{49{,}50}{4{,}3} = 11{,}512$ Fuss. Die Höhe der zuzusetzenden Wassersäule ist demnach $\frac{(c - v)\, v}{2g} = \frac{(13{,}256 - 11{,}512)\, 11{,}512}{31} = 0{,}648$ Fuss. Demnach beträgt die **wirksame Wassersäule für die obere Hälfte des Rades** $6{,}929 + 0{,}648 = 7{,}577$ Fuss, welches von dem Halbmesser des Theilrisses 7,875 Fuss sehr wenig abweicht.

Das ganze Gefälle für die obere Hälfte des Rades ist $KH + HB + BC = h + a + R' = 1{,}625 + 1{,}208 + 7{,}875 = 10{,}708$. Dividiren wir dasselbe mit $a = 1{,}208$ um eine Vergleichung mit der für die grösste Wirksamkeit angeführten Tabelle machen zu können, so erhalten wir $\frac{10{,}708}{1{,}208} = 8{,}86$; es ist demnach $8{,}86\, a = 10{,}71$ Fuss. Wird diese Zahl in der 10ten Kolumne der Tabelle Seite 424 aufgesucht, so fällt dieselbe zwischen 7,33 a und 9,00 a und nach der nebenstehenden 9ten Kolumne ist die vortheilhafteste wirksame Wassersäule $= 7{,}36\, a$ oder für unsern Fall $= 7{,}36 . 1{,}208 = 8{,}89$ Fuss, wogegen für das bestehende Rad das wirksame Gefälle nur 7,58 Fuss gefunden wurde. Inzwischen ist der Unterschied von 1,31 Fuss noch immer nicht von der Art, um bloss aus diesem Grunde auf eine vortheilhaftere Bauart des Rades anzutragen.

§. 329.

Wir kommen nun zur **Bestimmung der wirksamen Wassersäule für die untere Hälfte des Rades**. Hierzu sind die Winkel λ und μ, dann W und W' erforderlich.

Zur Berechnung des Winkels λ, bei welchem nämlich die Oberfläche des Wassers in den Zellen horizontal wird, bedürfen wir der Wassermenge, welche in einer jeden Sekunde in das Rad fliesst, oder zur Betreibung des Rades verwendet wurde. Diese ist in unserm Falle $M = 5{,}3$ Kub. Fuss. Die Geschwindigkeit des Wasserrades wurde $v = 11{,}512$ Fuss gefunden, die Breite des Rades zwischen beiden Kränzen war $B = 24{,}5$ Zoll.

Setzen wir nun die Höhe des Wassers in den Zellen $= x$, so finden wir dieselbe aus der Gleichung $M = B \cdot v \cdot x$, nämlich $x = \frac{M}{B \cdot v} = \frac{5{,}3 \cdot 12}{24{,}5 \cdot 11{,}5} = 2{,}71$ Zoll.

Der Flächeninhalt einer Zelle ist in unserm Falle, wo der Theilriss auf ein Drittel der Breite des Radkranzes angenommen wurde $= (b + \frac{1}{3} b) \frac{1}{2} e = \frac{2}{3} e \cdot b$, wenn die Entfernung einer Kropfschaufel von der andern mit e und die Höhe des Radkranzes mit b bezeichnet wird. Setzen wir die Höhe des leeren Theiles der Zelle an der innern Peripherie des Kranzes $= y$, so ist der unausgefüllte Raum $= \frac{b \cdot y}{2}$. Wird nun dieser Raum von dem Inhalte der Zelle abgezogen, so muss der Uiberrest $\frac{2}{3} e \cdot b - \frac{b \cdot y}{2}$ dem Flächeninhalt des Wassers in einer Zelle $e \cdot x$ gleich seyn. Daraus ergibt sich $y = \frac{\frac{2}{3} e \cdot b - e \cdot x}{\frac{1}{2} b} = e\left(\frac{4}{3} - \frac{2x}{b}\right)$. Da das Rad 56 Zellen hat, so ist die Entfernung der Schaufeln $e = \frac{22 \cdot 2 R'}{7 \cdot 56} = 10{,}6$ Zoll und daher die Höhe des leeren Raumes $y = 10{,}6 \left(\frac{4}{3} - \frac{2 \cdot 2{,}71}{9}\right) = 7{,}75$ Zoll. Hieraus folgt $\tang \lambda = \frac{m\,n}{p\,n} = \frac{b}{y} = \frac{9}{7{,}75} = 1{,}1613$ und der Winkel $\lambda = 49^{\circ}\ 16^{\text{Min.}}$

Hierzu kommt noch der Winkel W, welcher durch die Fliehkraft entsteht; derselbe ergibt sich nach Seite 423 aus $\sin W = \frac{v^2 \cdot \sin \lambda}{2 g \cdot R'} = \frac{(11{,}5)^2 \cdot \sin 49^{\circ}\ 16^{\text{Min.}}}{31 \cdot 7{,}875}$, woraus $W = 24^{\circ}\ 14^{\text{Min.}}$ folgt. Die Summe der beiden Winkel ist $= \lambda + W = 73^{\circ}\ 30^{\text{Min.}}$, wo die Zellen auszugiessen anfangen; die dazu gehörige Wassersäule ist $R' \cdot \cos (\lambda + W) = 7{,}875 \cdot 0{,}2840 = 2{,}24$ Fuss.

Da der Winkel, welchen die Setzschaufeln mit dem Theilrisse machen $\mu = 30$ Grad gegeben ist, so kommt hierzu noch der Winkel W′, welcher von der Fliehkraft herrührt. Die Gleichung $\sin W' = \frac{v^2 \cdot \sin \mu}{2 g \cdot R'} = \frac{(11{,}5)^2 \cdot \sin 30}{31 \cdot 7{,}875}$ gibt den Winkel $W' = 15^{\circ}\ 43^{\text{Min.}}$ Demnach ist der Winkel, bei welchem die Zellen ganz entleert sind $= 30^{\circ} + 15^{\circ}\ 43^{\text{Min.}} = 45^{\circ}\ 43^{\text{Min.}}$ und die zugehörige Wassersäule $R' \cdot \cos 45^{\circ}\ 43^{\text{Min.}} = 7{,}875 \cdot 0{,}6982 = 5{,}50$ Fuss.

Das Mittel von beiden, nämlich $\frac{2{,}24 + 5{,}50}{2} = 3{,}87$ Fuss kann für die Höhe der untern wirksamen Wassersäule angenommen werden. Das ganze wirksame Gefälle des Rades ist daher $7{,}58 + 3{,}87 = 11{,}45$ Fuss. Dagegen beträgt das verwendete Gefälle $10{,}708 + 7{,}875 + 1 = 19{,}58$ Fuss. Werden hiervon die vorstehenden 11,45 Fuss abgezogen, so beträgt der Verlust 8,13 Fuss oder 42 Prozent des ganzen Gefälles.

Wird dieses Resultat mit den Seite 425 und 429 angeführten Tabellen verglichen, so sieht man, dass nach der ersten Tabelle der Verlust für dasselbe Gefälle nur 28 und nach der zweiten nur 22 Prozent beträgt. Dieser bedeutende Unterschied, welcher hauptsächlich von dem zu frühen Ausgiessen des Wassers herrührt, verdient allerdings eine genauere Würdigung; wir wollen daher alle Verhältnisse des Rades nach der Tabelle Seite 429 angeben und durch ihre Vergleichung mit den bestehenden Verhältnissen des Rades den Grad der Würdigkeit einer jeden vorzunehmenden Abänderung erwägen.

Das verwendete Gefälle beträgt bei diesem Rade 19,58 Fuss. In der 20ten Kolumne der Tabelle finden wir das Gefälle 19,66 a. Setzen wir nun zur leichtern Rechnung a = 1 Fuss, so beträgt der Halbmesser des zugehörigen Theilrisses 8 Fuss, welches von unserm Halbmesser mit 7,875 Fuss nicht viel abweicht. Die Höhe des Wasserstandes über der Mitte der Oeffnung ist 1,66 Fuss, welche mit unserer Höhe 1,625 Fuss ebenfalls sehr nahe übereinstimmt. Dagegen beträgt nach der 7ten Kolumne die Höhe der wirksamen Wassersäule, welche von der Geschwindigkeit des einfallenden Wassers herrührt 1,50 Fuss, wogegen wir bei unserm Rade nur 0,65 Fuss gefunden haben. Die Höhe des wasserhaltenden Bogens für die obere Hälfte des Wasserrades ist nach der 8ten Kolumne 7,22 Fuss, welche von der bestehenden mit 6,93 Fuss nur um 0,29 Fuss verschieden ist. Die mittlere Höhe der Wassersäule in der untern Hälfte des Rades beträgt nach der 15ten Kolumne 6,65 Fuss, wogegen wir nur 3,87 Fuss gefunden haben. Man sieht hieraus, dass durch eine zweckmässigere Bauart des Rades in der obern Hälfte ein Gefälle von 1,14 Fuss, in der untern aber ein wirksames Gefälle von 2,78 Fuss zu gewinnen und demnach das vorhandene wirksame Gefälle von 11,45 Fuss bis auf 15,37 Fuss zu erhöhen seyn werde. Da die Arbeit der Maschine diesem Verhältnisse proporzional ist, so wird man leicht ermessen können, ob das Verhältniss 11,45 : 15,37 oder in kleinen Zahlen 8 : 11 lohnend genug seyn werde, um eine zweckmässigere Bauart vorzunehmen.

Uiberhaupt zeigen diese Bemerkungen, dass es nicht so sehr an der Vorrichtung für den Einfluss des Wassers, als vielmehr an dem zu frühen Ausflusse des Wassers aus den Zellen des Rades liege, wenn die Arbeit der oberschlächtigen Räder nicht dem Verhältnisse des vorhandenen, gewöhnlich sehr grossen Gefälles entspricht. Da eine tiefere Herabsetzung des Ausflusses nur dadurch zu erreichen ist, wenn die Winkel λ und μ vermindert werden, hierzu aber erfordert wird, dass die Querschnittsfläche und die Höhe des Wassers in den Zellen vermindert, dann die nöthige Aufnahme des vorhandenen Wasserzuflusses durch die grössere Breite des Rades oder Entfernung der Radkränze bewirkt werde, so müssen wir noch diese Entfernung in unserm Falle bestimmen.

Wir hatten den Wasserzufluss = 5,3 Kub. Fuss. In der Tabelle wurde angenommen, dass die Höhe des Wassers in den Zellen nur ein Viertel von der Höhe der Radkränze, nämlich ¼ b betrage, oder dass die Zellen nur mit dem 4ten Theile ihres Inhaltes mit Wasser gefüllt werden. Weil aber die Wassermenge M im Rade nach der 6ten Kolumne der Tabelle sich mit der Geschwindigkeit v = 6,82 Fuss bewegt, so haben wir, wenn B die nöthige Entfernung der Radkränze bezeichnet, die Gleichung $M = B \cdot v \cdot \frac{b}{4}$ oder $5{,}3 = B \cdot 6{,}82 \cdot \frac{3}{16}$, woraus B = 4,1 Fuss folgt. Diese Abänderung und die Herabsetzung des Winkels μ auf 20° 33Min. enthalten die hauptsächlichsten Gründe, aus welchen die Vertiefung des Ausflusses und somit die grössere Wirksamkeit des oberschlächtigen Rades folgt. Aus diesem Beispiele wird man übrigens leicht ersehen, wie man in jedem andern Falle zu verfahren hat.

Hat man die Kraft eines oberschlächtigen Rades bei einer Bretsäge durch zweckmässige Abänderung vergrössert, so muss nun das Schiebezeug so eingerichtet werden, dass es die Klötze in demselben Verhältnisse mehr zuschiebt, d. h. man muss diese Zuschiebung so lange vermehren, bis die für das Rad bemessene, in der 6ten Kolumne

der Tabelle enthaltene Geschwindigkeit erfolgt. Derselbe Zweck wird aber auch erreicht, wenn das Räderwerk, nämlich die Anzahl der Kämme des Drehlings zu jenen des Stirnrades der Maschine so abgeändert wird, dass z. B. bei der oben beschriebenen Säge 11 Schnitte in gleicher Zeit, wie früher 8 Schnitte erfolgen.

§. 330.

Die dritte Gattung Wasserräder sind die mittelschlächtigen oder Kropfräder, welche bisher nur dann angewendet wurden, wenn das vorhandene Gefälle für ein oberschlächtiges Rad zu klein befunden wurde. Wir haben gesehen, dass das Bewegungsmoment der oberschlächtigen Räder dem Gewichte des Wasserzuflusses in einer Sekunde multiplizirt mit der Höhe der Wassersäule, auf welcher sich das Wasser im Rade erhält, gleichkommt und dass dieses Moment bei unterschlächtigen Rädern im Falle der vortheilhaftesten Benützung des Wassers nur dem Gewichte des Wasserzuflusses multiplizirt mit der halben Höhe des Gefälles gleich ist. Da nun bei oberschlächtigen Rädern der Höhe der Wassersäule nebst dem Freihängen auch noch die Höhe, um welche das Wasser zu früh aus den Zellen herausfällt, entgeht, so verfiel man auf den Gedanken, zur Gewinnung dieser Wassersäule den untern Theil des Rades mit einem nach der Krümmung desselben anschliessenden Gerinneboden, Kropf genannt, zu versehen, um auf diese Art sowohl die Höhe dieser Wassersäule als auch das Freihängen sammt der Tiefe des unten abfliessenden Wassers dem Bewegungsmomente des Rades zuzuwenden. Hierzu wird aber erfordert, dass das Wasser so lange in den Zellen bleibe, als es zur Gewinnung dieser Höhe nothwendig ist, zu welchem Zwecke die Schaufeln der Kropfräder entweder gebrochen oder zellenartig gebaut werden.

§. 331.

Die Konstrukzion dieser Kropfräder wird auf verschiedene Art angegeben. Ist das Gefälle oder die Höhe des Kropfes nicht sehr bedeutend, so pflegt man den Kränzen eine Breite von 12 Zoll zu geben, den Theilriss auf die Mitte zu setzen und die Anzahl der Schaufeln oder Zellen 3 mal so gross anzunehmen, als der Durchmesser im Theilrisse Fusse hat. Die Stellung der Kropfschaufeln gegen die Stossschaufeln wird nun auf verschiedene Art vorgenommen.

Herr *Eytelwein* gibt in seinem Handbuche der Mechanik fester Körper und der Hydraulik, Seite 258 (2te Auflage) folgende Verzeichnungsart der Schaufeln eines Kropfrades an. Es sey Fig. 1 in d ein Theilungspunkt so angenommen worden, dass sich derselbe an jener höchsten Stelle des Gerinnes befindet, wo die Rundung desselben mit dem Rade einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt c hat. Man theile den vertikalen äussern Halbmesser cb des Rades in eben so viel gleiche Theile als Schaufelweiten im Quadranten ab befindlich sind, also hier in 8 Theile. Bezeichnet man nun die Theilungspunkte vom Mittelpunkte c herab mit 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und eben so die Punkte am Umfange des Rades von b nach a, so gibt die Linie von 4 in cb nach dem gleichnamigen Punkt 4 in ab die Lage der Wasser- oder Stossschaufel de, deren Länge durch den Fig. 1. Tab. 64.

Fig. 1. Tab. 64. in der Mitte der Kränze gezogenen Theilriss e g bestimmt wird. Die Lage der Kropf- oder Riegelschaufel wird dadurch gefunden, dass man die Weite d e aus e nach dem innern Umfange des Rades bis f trägt oder d e = e f macht; oder man setzt die Riegelschaufel winkelrecht auf e d, in welchem letztern Falle man den Theilriss so wie bei oberschlächtigen Rädern auf 1/3 der Breite des Radkranzes in der Richtung gegen den Mittelpunkt des Rades gemessen anzunehmen pflegt. Bei schmalen Kränzen oder bei einer starken Kröpfung ist es nützlich, die Riegelschaufeln so breit zu machen, dass sie noch etwas über den innern Rand der Kränze vorspringen, damit das einstürzende Wasser nicht überschlagen möge.

Fig. 2. In dem Wasser-Mahl-Mühlenbau von *Karl Neumann*, Berlin 1810, 2tes Heft, Seite 144 wird folgende Konstrukzion der Kropfräder empfohlen: Es sey A ein Stück Rad, wo man die Lage der Schaufeln zu 3 Fuss Kropfhöhe und B ein Stück Radkranz, wo man dieselben zu 6 Fuss Kropfhöhe bestimmen soll. Das Rad selbst habe in beiden Fällen 8 Fuss im äussern Halbmesser. Man ziehe den Theilriss in der Mitte des Reifens und trage die Schaufelweiten a a′, a′ a″, a″ a‴.... auf; hierauf theile man eine solche Weite a a′ in so viel gleiche Theile, als das Rad im äussern Halbmesser Fusse hat, also hier in 8. Man zähle von a aus so viele gleiche Theile ab, als der Kropf Fusse zur Höhe hat, demnach bei A drei und bei B sechs Theile, und bemerke den Punkt b, durch welchen man nach der Richtung des Halbmessers die Linie c d zieht. Verbindet man bei A den Punkt a mit den Punkten c und d, so gibt dieses die Richtung beider Theile der Schaufel, wovon der äussere a c die Wasser- oder Stosschaufel und der innere a d die Kropf- oder Riegelschaufel bezeichnet. Bei dem 6 Fuss hohen Kropf B hingegen, wo der Winkel c a d kleiner als ein rechter werden würde, gibt zwar a c die Richtung der Stosschaufel, die Riegelschaufel a f aber wird auf erstere im rechten Winkel gesetzt und das Stück f d mit einem Boden versehen. Uiberhaupt muss der Winkel, welchen beide Theile der Schaufel zusammen machen, bei niedrigen Kröpfungen ganz stumpf seyn, bei höhern aber dem rechten immer näher kommen, bis er diesen erreicht. Bei dem rechten Winkel fängt der innere Boden im Rade an, welcher so wie die Kröpfung höher wird, immer an Breite zunimmt, bis die Kropfhöhe dem Halbmesser des Rades gleich ist, wo sich der Boden schliesst, demnach das Rad inwendig ganz geschlossen wird.

In demselben Werke von *Neumann* wird im ersten Hefte Seite 104 eine besondere Regel für den Anfang oder die Abrundung des Kropfgerinnes gegeben. Es sey A der Anfang einer 6 Fuss hohen, B einer 4 Fuss hohen und C einer 2 Fuss hohen Kröpfung zu einem Wasserrad von 16 Fuss Durchmesser. Man lege das Gerinne vom Fachbaum bis zum Anfange des Kropfes horizontal und runde nur den Anfang des Kropfes so ab, dass das Wasser nach der Tangente des Rades seinen Stoss ausüben könne. Bezeichnet m n die Lage des horizontalen Gerinnes und n o die Rundung der Kröpfung, so schneiden sich beide Linien in n. Man nehme den dritten Theil des Wasserstandes vor der Schütze, z. B. 6 Zoll, wenn der Wasserstand 18 Zoll ist, trage diesen von n nach p und nach q. Ferner ziehe man aus p auf m n die Lothrechte p s und aus q auf den Bogen n o die Winkelrechte q t, welche demnach in der Richtung des Halbmessers liegen muss. Wo sich die beiden Linien p s und q t in r schnei-

den, setze man den Zirkel ein und beschreibe mit dem Halbmesser r p den Bogen p q, welcher die Abrundung des obern Theiles des Kropfes angibt. Geht der Kropf bis gegen die Mitte des Rades, wie hier bei D, in welchem Falle das Rad schon halb-schlächtig wird, so kann man noch immer diese Verzeichnungsart beibehalten; man arbeitet aber die Kropfschwelle bei v etwas aus, damit das Wasser von dieser Schwelle lossreisst und sich nicht am Boden des Kropfes herunterzieht. Fig. 3. Tab. 64.

§. 332.

Uiber die letzte Konstrukzion ist zu bemerken, dass es vortheilhafter sey, den einfallenden Strahl so zu richten, damit das Wasser nicht nach der Tangente der Peripherie des Rades, sondern nach der Richtung der Stosschaufeln einfallen möge. Im ersten Falle fliesst nämlich immer ein Theil des Wassers durch den Spielraum zwischen dem Boden des Kropfes und dem Rade in der ganzen Breite desselben unbenützt herab und nimmt hierbei eine beschleunigte Bewegung an, wodurch der Querschnitt oder die Breite desselben Wasserstrahls vermindert wird, demnach auch dieses Wasser nie mehr in die untern Schaufeln gelangen kann. Wenn dagegen das Wasser nach der Richtung der Stosschaufeln einfällt, so überspringt es den Zwischenraum zwischen dem Rade und dem Kropfe. Es bezeichne b g d h den Längendurchschnitt des Gerinnebodens. Man verlängere die Richtung der Stosschaufel a b bis e, mache e f = e b, ziehe in b die winkelrechte Linie c b auf b e, in f die lothrechte f c und beschreibe nun mit dem Halbmesser c b = c f den Bogen b o f, so wird derselbe die Krümmung des Bodens zu Anfang der Kröpfung bezeichnen und offenbar dazu dienen, das Wasser eben so in die Zellen zu führen, wie es bei oberschlächtigen Rädern der Fall war. Fig. 4.

Da Kropfräder mit gebrochenen Schaufeln gleichen Gesetzen wie die oberschlächtigen Räder unterliegen, demnach das Wasser in den Zellen theils durch seinen Stoss, vorzüglich aber durch sein Gewicht zu wirken hat, so leuchtet von selbst ein, dass der Bau dieser Zellen so eingerichtet werden müsse, damit dieselben das Wasser möglichst tief unten ausgiessen. Zu diesem Behufe muss nach unserer frühern Theorie der Winkel, welchen die Stosschaufeln mit der Peripherie des Rades bilden, sehr klein angenommen werden; damit aber das Wasser über diese flachen Schaufeln nicht herausstürze, sondern lange in den Zellen gehalten werde, muss der Boden eines solchen Kropfrades inwendig verkleidet werden. Die Besorgniss, dass etwa die abgesperrte Luft in diesen Zellen ihre gänzliche Anfüllung nicht gestatten werde, entfällt dadurch, weil die Zellen, wenn sie das Wasser lange halten sollen, so wie bei oberschlächtigen Rädern nie ganz, sondern nur mit einem kleinen Theile ihres Inhaltes angefüllt werden dürfen.

§. 333.

Hierher gehört der Vorschlag, welchen Herr *Poncelet*, *Capitaine du Génie* in einem *Mémoire sur les Roues verticales à palettes courbes mues par en dessous, suivi d' expériences sur les effets mécaniques de ces roues* in den *Annales de Chimie et de Phy-*

sique, Tome XXX, Paris 1825 bekannt gemacht hat. Diese Abhandlung ist in dem Jahrgange 1826 des polytechnischen Journals von *Dingler* übersetzt erschienen. Herr *Poncelet* hat hierfür nach dem Erkenntniss der *Académie royale des Sciences* den von Herr *Moutyon* gestifteten Preis für Mechanik, eine goldene Medaile, 1000 Franken werth, erhalten. In der Einleitung zu dieser Abhandlung wird gesagt, dass die gewöhnlichen unterschlächtigen Räder nur $^1/_4$ bis $^1/_5$ jenes Effektes leisten, welcher aus der vollkommenen Benützung des Wassers abgeleitet wird. (Diess tritt nach unserer Theorie nur dann ein, wenn die unterschlächtigen Räder entweder zu geschwind gehen, oder nicht die hinlängliche Anzahl Schaufeln besitzen). Zur Vermehrung der Wirkung der Räder schlägt *Poncelet* vor, **1tens**: Zwischen die zwei Radkränze gekrümmte Schaufeln einzusetzen, welche mit dem äussern Umfange des Rades einen sehr kleinen Winkel bilden und von da aus immer weniger gegen den Halbmesser des Rades geneigt sind. **2tens**: Die Schütze in einer schiefen Lage zunächst unter das Wasserrad zu stellen. Fig. 5 stellt
Fig. 5. Tab. 64. den Durchschnitt eines solchen Rades vor. Zur Bestimmung der Krümmung der Schaufeln bedient sich Herr *Poncelet* folgender Konstrukzion: Es sey A b irgend ein Halbmesser, so wird zuerst die Breite des Radkranzes so angenommen, dass sie nie weniger als ein Viertel der ganzen Fallhöhe betragen soll. Man ziehe nun b o ungefähr unter 10 Grad mit A b oder mache e b o $= 10^\circ$ und nehme den Punkt o auf $^1/_7$ oder $^1/_8$ der Breite des Radkranzes über seinem innern Umfange an. Aus diesem Punkte o beschreibe man nun mit dem Halbmesser o b den Kreisbogen b m, welcher die krummen Schaufeln des Rades angibt. Die Anzahl dieser Schaufeln wird wie bei oberschlächtigen Rädern bestimmt; man wird daher bei Rädern von 4 bis 5 *Meter* im Durchmesser eine Zahl von 36 bis 40 Schaufeln annehmen können. Herr *Poncelet* schliesst aus seinen Untersuchungen, dass die Quantität der Wirkung, die durch ein Rad mit krummen Schaufeln wirklich geliefert wird, bei einem Falle von $0{,}_{80}$ bis 2 *Meter* nie geringer als $0{,}_6$ seyn kann und oft $0{,}_{67}$ der Quantität der Wirkung beträgt, welche der ganzen Höhe des Wassers im Behälter von seinem obern *Niveau* an bis auf den niedrigsten Punkt des Rades gleichkommt. Die umständliche Ausführung seiner Ansichten ist in den genannten Werken enthalten, worauf wir zur Vermeidung der Weitläufigkeit hinweisen, und nur noch bemerken, dass nach einem spätern Berichte des Herrn *Poncelet* im Dezemberhefte 1825 der *Annales de Chimie et de Physique* ein nach diesen Grundsätzen zur Betreibung einer Spinnerey zu *Briey* bei *Metz* und ein zweites zu *Falck* an einer Mühle daselbst erbautes Rad den Erwartungen der Bauherrn entsprochen hat.

Uiber diese Konstrukzion ist zu erinnern, dass das Wasser bei seinem Eintritte in die Zellen sich auf den krummen Schaufeln wie auf einer schiefen Fläche erhebt, ohne, wie es bei den unterschlächtigen Rädern der Fall ist, einen **winkelrechten** Stoss an den Halbmesser des Rades selbst im höchsten Stande der Schaufeln ausüben zu können. Das Wasser wird daher die Schaufeln und Radkränze, wenn sie nicht übermässig hoch gemacht werden, überspringen, und dadurch den winkelrechten Stoss, welcher bei gewöhnlichen Schaufeln Statt findet, nicht ganz erreichen können. Es kann daher zwar der Stoss durch das Gewicht des Wassers in den Zellen etwas vermehrt werden, wie es schon bei den von *Bossut* vorgeschlagenen geneigten Schaufeln der Fall war; wie viel aber dieser Gewinn nach Abzug des Verlustes, der bei dem

Stosse aus der Differenz der Geschwindigkeit entsteht, betragen könne, ist noch nicht hinlänglich ausgewiesen worden. Wir werden später sehen, dass bei Kropf- oder unterschlächtigen Rädern mit gebrochenen Schaufeln, im Falle die Gefällshöhe h, wie es hier angenommen wurde, 2 *Meter* beträgt, eine weit grössere Wirkung als $0{,}67 \cdot 56{,}4\,M \cdot h$, wie Herr *Poncelet* als Maximum der Wirkung für diesen Fall angibt, bewirkt werden könne.

§. 334.

Die Rechnung über die Wirkung der mittelschlächtigen oder Kropfräder wird auf dieselbe Art wie bei den oberschlächtigen gemacht. Es sey feba ein Wasserfaden, Fig. 6. Tab. 64. welcher nach der horizontalen Richtung des Mühlkanals mit der Geschwindigkeit c herbeifliesst und nach der Richtung der Setzschaufel ba in die Zelle einfällt. Man verlängere den horizontalen Weg fe und ziehe aus a die Linie ag senkrecht darauf. Die Geschwindigkeit nach der Richtung fe sey $= c$ und $ag = p$, so wird die Geschwindigkeit des einfallenden Wasserstrahls bei $a = 2\sqrt{g\left(\frac{c^2}{4g} + p\right)} = \sqrt{c^2 + 4g.p}$ seyn. Der Winkel, welchen die Setzschaufel mit dem Theilrisse macht, sey $= \mu$, so wird die Geschwindigkeit des einfallenden Wasserstrahles nach der Richtung des Theilrisses $C = \text{Cos}\,\mu\sqrt{c^2 + 4g.p}$ seyn. Für die beste Wirkung des Wassers muss daher die Geschwindigkeit desselben im Rade, oder die Geschwindigkeit des Rades nach der frühern Theorie $v = \frac{1}{2}\text{Cos}\,\mu\sqrt{c^2 + 4g.p}$ seyn und wir haben die von der Geschwindigkeit herrührende wirksame Wassersäule $\frac{(C - v)\,v}{2g} = \frac{1}{2}\text{Cos}^2\,\mu\left(\frac{c^2}{4g} + p\right)$. Wenn wir nun annehmen, dass durch das genaue Anschliessen des Kropfes das Wasser ganz in den Zellen gehalten wird, so ist das Bewegungsmoment des Rades $56{,}4\,M\left\{AD + \frac{1}{2}\text{Cos}^2\,\mu\left(\frac{c^2}{4g} + p\right)\right\}$. Das vorhandene Gefälle ist offenbar $= \frac{c^2}{4g} + p + AD = ED$. Wird von diesem das wirksame Gefälle abgezogen, so ist der Verlust am Gefälle $V = \left(\frac{c^2}{4g} + p\right)\left(1 - \frac{1}{2}\text{Cos}^2\,\mu\right)$. Wir können daher das Bewegungsmoment des Rades auch $= 56{,}4\,M\,(ED - V)$ setzen.

Hieraus sehen wir, dass zur vortheilhaftesten Benützung des Wassers nöthig sey, die Grösse V möglichst klein zu machen, zu welchem Behufe 1tens, der Winkel, welchen die Setzschaufeln mit dem Theilrisse machen $= 0$ anzunehmen wäre. Da dieses jedoch nicht möglich ist, weil in diesem Falle die Zellen an der äussern Peripherie des Rades durch die Setzschaufeln ganz geschlossen würden, so ist nur nöthig, den Winkel μ möglichst klein zu machen. 2tens. Auf gleiche Art sind auch die Grössen $\frac{c^2}{4g} + p$ möglichst klein anzunehmen. Bezeichnen wir die Länge der Setzschaufel ab mit l und die Abkröpfung des Gerinnebodens bq mit k, so ist $p = l.\,\text{Sin}\,(w - \mu) + k$. Hieraus sieht man, dass p wenig beträgt, so lange der Winkel $w - \mu$ klein ist. Sein grösster Werth würde Statt finden, wenn der Winkel $w = 90 + \mu$ wäre, folglich das Gefälle mehr als der Halbmesser des Rades betrüge. Da aber dieser Fall den oberschlächtigen Rädern zugehört und in der Folge eigends

Fig. 6. Tab. 64. abgehandelt werden wird, so dürfen wir annehmen, dass die Grösse p immer einen unbedeutenden Werth behalte, so lange das Gefälle kleiner als der Halbmesser ist, wie es bei den Kropfrädern gewöhnlich Statt findet.

Demnach kommt es nur vorzüglich darauf an, dass der Kropf an die Peripherie des Rades genau anschliesse, damit die Höhe AD dem Effekte ganz zugewendet werde. Da jedoch dieses besonders bei hölzernen Rädern, welche immer Veränderungen unterliegen, für die Länge der Zeit nicht wohl ausführbar ist, so ist es so wie bei oberschlächtigen Wasserrädern nothwendig, die Winkel μ und λ möglichst klein zu machen, damit das Ausfliessen des Wassers aus den Zellen tief herabgesetzt und auf diese Art die Höhe des wasserhaltenden Bogens vergrössert werde. Wir haben in dieser Hinsicht bereits bei der frühern Theorie gesehen, dass die Zellen nicht ganz angefüllt und dagegen die Weite zwischen den Radkränzen vergrössert werden müsse. Weil aber hierbei der nöthige Spielraum zwischen den Kränzen und dem Kropfe hinreichen kann, das wenige in den Zellen enthaltene Wasser gänzlich aufzunehmen, folglich auch die Bekleidung mit einem Kropfe entbehrlich werden würde, so ist es doch vortheilhaft, diesen in der Absicht beizubehalten, um die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers zu vermehren, damit dasselbe bei dem Abflusse der Bewegung des Rades nicht hinderlich werde.

§. 335.

Die vorangeführten Gründe und die möglichste Ersparung des Freihängens der Räder waren die Ursache, dass man auch oberschlächtige Räder nach Art der mittelschlächtigen vorzurichten, und dieselben unterhalb mit einem Kropfe zu bekleiden veranlasst worden ist. Wir haben schon früher angeführt, dass bei den eisernen Rädern das Gerinne nicht wie gewöhnlich über die Räder hinaufgesetzt, sondern rückwärts, wie Fig. 7 zeigt, gegen das Rad geführt und der Zug der Schützen nicht von
Fig. 7. oben, sondern von unten nach aufwärts gerichtet werde, damit nämlich das Wasser bloss **über** die Schützen überlaufen und nach der Richtung der Setzschaufeln in die Zellen möglichst senkrecht herabfallen möge. Zur Verhütung, dass selbst bei steigendem Wasserstande keine nachtheilige Geschwindigkeit gegen die Rückseite der Schaufeln entstehen möge, hat man zwischen der Schütze und dem Rade noch ein Gitterwerk von breiten eisernen Schienen angebracht, damit das nach der horizontalen Richtung im Schussgerinne herbeifliessende Wasser sich an diesem Gitterwerke abstossen und bloss nach der Richtung der Setzschaufeln in die Zellen einfallen könne. Da es von Wichtigkeit ist, die Vortheile genau zu bemessen, welche man dieser Einrichtung seit ihrer Einführung vor den bekannten oberschlächtigen Rädern zuschrieb, so wird hierüber folgende Rechnung angeführt.

Es sey AK die Oberfläche des Wassers im Schussgerinne; die Schütze sey von G nach H herabgeschoben und dadurch dem Ausflusse des Wassers die Höhe $KH = h$ eröffnet, dann sey die Breite des Wasserstrahles, welcher gewöhnlich der Weite der Radkränze gleichkommt $= B$. Die auf das Rad in einer Sekunde fliessende Wassermenge wird daher $M = m \cdot \frac{2}{3} B \cdot h \cdot 2\sqrt{g \cdot h}$ seyn, und es ist aus dieser Gleichung zu ersehen, wie der Wasserzufluss M durch Erhöhung oder Erniedrigung der Schütze

vermehrt oder vermindert werden könne. Setzen wir die Höhe des Wasserstandes im Schussgerinne über den Punkt D, wo das Wasser in den Theilriss auffällt, DK = H, so ist die Geschwindigkeit des nach der Richtung der Setzschaufeln einfallenden Wasserstrahles $C = 2\sqrt{g.H}$. Aus dieser Geschwindigkeit entsteht ein Stoss auf den Punkt D nach der Richtung der Setzschaufeln, welcher nach §. 257 $= 56{,}4\,M \cdot \frac{C}{2g}$ seyn würde, wenn die Kropfschaufeln nicht ausweichen könnten; weil aber diese mit der Geschwindigkeit v nach der Richtung der Peripherie des Rades fortgehen, so müssen wir den Stoss des einfallenden Wassers in $56{,}5\,M \cdot \frac{C}{2g} \cdot \mathrm{Cos}\,\mu$ und in $56{,}4\,M \cdot \frac{C}{2g} \cdot \mathrm{Sin}\,\mu$ zerlegen. Mit der ersten Kraft wird das Rad nach der Richtung des Theilrisses und zwar nach §. 259 mit der Kraft $56{,}4\,M\left(\frac{C.\mathrm{Cos}\,\mu - v}{2g}\right)$ getrieben. Der zweite Theil wirkt gegen die Achse des Rades und wird von derselben aufgehoben. Wird nun die erstere Kraft mit der Geschwindigkeit v des Rades multiplizirt, so haben wir das von der Geschwindigkeit des einfallenden Wassers bewirkte Bewegungsmoment $= 56{,}4\,M\left(\frac{C.\mathrm{Cos}\,\mu - v}{2g}\right)v$. Für den Fall des Maximum ist $v = \frac{1}{2}C.\mathrm{Cos}\,\mu$, folglich die grösste Höhe, welche der Wassersäule zugesetzt wird, $\left(\frac{C.\mathrm{Cos}\,\mu - v}{2g}\right)v = \frac{C^2.\mathrm{Cos}^2\mu}{2.4g} = \frac{H.\mathrm{Cos}^2\mu}{2}$. Hierzu kommt noch die Höhe des wasserhaltenden Bogens $CE = R.\mathrm{Sin}\,\mu$, folglich ist die Höhe der wirksamen Wassersäule für die obere Hälfte des Rades $= R.\mathrm{Sin}\,\mu + \frac{H.\mathrm{Cos}^2\mu}{2}$.

Fig. 7. Tab. 64.

Es sey mn die horizontale Oberfläche des Wassers bei dem Anfange des Ausflusses und der Winkel, den diese Oberfläche mit dem Theilrisse macht $= \lambda = PCO$, so ist die Höhe des wasserhaltenden Bogens $CO = R.\mathrm{Cos}\,\lambda$. Da die Zellen bei der horizontalen Lage der Setzschaufeln ihr Wasser gänzlich verloren haben, so ist die Höhe $CS = R.\mathrm{Cos}\,\mu$; folglich ist die mittlere Höhe des wasserhaltenden Bogens in der untern Hälfte des Rades $= \frac{1}{2}R\,(\mathrm{Cos}\,\lambda + \mathrm{Cos}\,\mu)$. Die Winkel λ und μ müssen noch wegen der Fliehkraft um die Winkel W und W′ vermehrt werden. Für den ersten haben wir

$$\mathrm{Sin}\,W = \frac{v^2.\mathrm{Sin}\,\lambda}{2g.R} = \frac{H.\mathrm{Cos}^2\mu.\mathrm{Sin}\,\lambda}{2R} \text{ und für den zweiten } \mathrm{Sin}\,W' = \frac{v^2.\mathrm{Sin}\,\mu}{2g.R} = \frac{H.\mathrm{Cos}^2\mu.\mathrm{Sin}\,\mu}{2R}.$$

Demnach erhalten wir die mittlere Höhe des wasserhaltenden Bogens an der untern Hälfte des Rades $= \frac{1}{2}R\,\{\mathrm{Cos}\,(\lambda + W) + \mathrm{Cos}\,(\mu + W')\}$.

Die Substituzion dieser beiden Höhen gibt uns das gesammte Bewegungsmoment $= 56{,}4\,M\left\{\frac{(C.\mathrm{Cos}\,\mu - v)\,v}{2g} + R\left(\mathrm{Sin}\,\mu + \frac{1}{2}\mathrm{Cos}\,(\lambda + W) + \frac{1}{2}\mathrm{Cos}\,(\mu + W')\right)\right\}$ und für den Fall des Maximum ist dieses Moment

$$= 56{,}4\,M\left\{\tfrac{1}{2}H.\mathrm{Cos}^2\mu + R\left(\mathrm{Sin}\,\mu + \tfrac{1}{2}\mathrm{Cos}\,(\lambda + W) + \tfrac{1}{2}\mathrm{Cos}\,(\mu + W')\right)\right\}.$$

§. 336.

Wir wollen nun diese neue Anordnung in einem Beispiele mit einem oberschlächtigen Rade nach unserer frühern Theorie vergleichen, und hierbei die Höhe der Radkränze, die Entfernung und Anzahl Zellen, wie auch die

Fig. 7. Tab. 64. Winkel λ und μ, dann die Höhe der Anfüllung des Radkranzes eben so wie §. 309, S. 427 annehmen. Da es zu weitläufig seyn würde, alle Gefälle von 4 Fuss bis 66 Fuss durchzugehen, so wollen wir nur den Winkel λ, wo die Zellen auszugiessen anfangen, $= 36^\circ 52^{\text{Min.}}$ und $\mu = 20^\circ 33^{\text{Min.}}$ so wie dort annehmen, und zuerst für den Fall $R = 20$ Fuss das wirksame und verwendete Gefälle aufsuchen. Die Höhe des Wasserstandes über dem Theilriss sey $KD = H = 2$ Fuss, so ist $\frac{H . \text{Cos}^2 \mu}{2} = 0{,}8768$ Fuss, $R . \text{Sin}\,\mu = 20 . 0{,}3510 = 7{,}02$ Fuss. Die Gleichung $\text{Sin}\,W = \frac{0{,}8768 . 0{,}6}{20}$ gibt $W = 1^\circ 30^{\text{Min.}}$ und die Gleichung $\text{Sin}\,W' = \frac{0{,}8768 . 0{,}3510}{20}$ gibt den Winkel $W' = 0^\circ 53^{\text{Min.}}$, mithin ist $\frac{1}{2} R . \text{Cos}\,(\lambda + W) = 10 . \text{Cos}\,38^\circ 22^{\text{Min.}} = 7{,}84$ Fuss und $\frac{1}{2} R . \text{Cos}\,(\mu + W') = 10 . \text{Cos}\,21^\circ 26^{\text{Min.}} = 9{,}31$ Fuss. Es beträgt demnach das wirksame Gefälle $0{,}88 + 7{,}02 + 7{,}84 + 9{,}31 = 25{,}05$ Fuss und das hierzu verwendete Gefälle ist $= H + R . \text{Sin}\,\mu + R = 2 + 7{,}02 + 20 = 29{,}02$ Fuss, wobei angenommen wurde, dass der Wasserspiegel des Unterwassers mit dem Theilrisse des Rades zusammenfällt. Der Verlust beträgt also $3{,}97$ Fuss und wenn dieses mit dem ganzen Gefälle dividirt wird, beinahe $0{,}14$ oder 14 Prozent des ganzen Gefälles, wogegen nach der Tabelle Seite 429 bei dem gleichen Gefälle von $29{,}02$ Fuss der Verlust nach der XXI Kolumne $5{,}26$ Fuss oder nach der XXII Kolumne 18 Prozent des ganzen Gefälles beträgt.

Obwohl der Unterschied zwischen beiden nicht bedeutend ist, so wäre doch noch hierüber zu bemerken, dass man bei dem oberschlächtigen Rade die Schütze von der rückwärtigen Seite anbringen und dadurch bewirken kann, dass das Rad nach der Richtung des abfliessenden Wassers sich bewegt, folglich das untere Freihängen, welches vom Theilriss bis an die Oberfläche des Wassers 1 Fuss beträgt, erspart werden kann. In diesem Falle würde bei dem oberschlächtigen Rade bei demselben Gefälle der Verlust nur $4{,}26$ Fuss oder 15 Prozente betragen.

Auf gleiche Art wie oben findet man für $R = 12$ Fuss die Werthe $\frac{H . \text{Cos}^2 \mu}{2} = 0{,}8768$ Fuss und $R . \text{Sin}\,\mu = 12 . 0{,}3510 = 4{,}21$ Fuss. Die Gleichung $\text{Sin}\,W = \frac{0{,}8768 . 0{,}6}{12}$ gibt den Winkel $W = 2^\circ 31^{\text{Min.}}$ und die Gleichung $\text{Sin}\,W' = \frac{0{,}8768 . 0{,}3510}{12}$ gibt den Winkel $W' = 1^\circ 28^{\text{Min.}}$; mithin ist $\frac{1}{2} R . \text{Cos}\,(\lambda + W) = 6 . \text{Cos}\,39^\circ 23^{\text{Min.}} = 4{,}64$ Fuss und $\frac{1}{2} R . \text{Cos}\,(\mu + W') = 6 . \text{Cos}\,22^\circ 1^{\text{Min.}} = 5{,}56$ Fuss. Es wird also das wirksame Gefälle für diesen Fall $0{,}88 + 4{,}21 + 4{,}64 + 5{,}56 = 15{,}29$ Fuss und das verwendete Gefälle $H + R . \text{Sin}\,\mu + R = 2 + 4{,}21 + 12 = 18{,}21$ Fuss seyn. Der Verlust beträgt demnach $2{,}92$ Fuss oder 16 Prozent vom ganzen Gefälle, wogegen nach der Tabelle der Verlust für ein gleiches verwendetes Gefälle $4{,}12$ Fuss oder 23 Prozent gefunden wird. Wollte man wieder 1 Fuss für das Freihängen abziehen, so bleibt für das oberschlächtige Rad ein Verlust von $3{,}12$ Fuss oder 17 Prozent vom ganzen Gefälle.

Ist der Halbmesser des Rades nur $R = 6$ Fuss, so findet man für dieselben Winkel λ und μ die Werthe $\frac{H . \text{Cos}^2 \mu}{2} = 0{,}8768$ Fuss und $R . \text{Sin}\,\mu = 6 . 0{,}3510 = 2{,}11$ Fuss. Aus der Gleichung $\text{Sin}\,W = \frac{0{,}8768 . 0{,}6}{6}$ findet man den Winkel $W = 5^\circ 2^{\text{Min.}}$ und aus

der Gleichung $\text{Sin}\, W' = \frac{0{,}8768 \,.\, 0{,}3510}{6}$ ist der Winkel $W' = 2^{0}\, 56^{\text{Min.}}$ Durch Substituzion ergibt sich $\frac{1}{2} R \,.\, \text{Cos}\, (\lambda + W) = 2{,}23$ und $\frac{1}{2} R \,.\, \text{Cos}\, (\mu + W') = 2{,}75$, demnach ist das wirksame Gefälle für ein Rad von 6 Fuss Halbmesser $0{,}88 + 2{,}11 + 2{,}23 + 2{,}75 = 7{,}97$ Fuss, und das verwendete Gefälle $H + R \,.\, \text{Sin}\, \mu + R = 2 + 2{,}11 + 6 = 10{,}11$ Fuss, mithin ist der Verlust $= 2{,}14$ Fuss oder 21 Prozent des ganzen Gefälles. Nach der Tabelle findet man für ein gleiches Gefälle von 10,11 Fuss den Verlust von 3,11 Fuss oder 31 Prozent. Wird hingegen abermals 1 Fuss für das Freihängen abgeschlagen, so ist der Verlust am Gefälle bei dem oberschlächtigen Rade 2,11 Fuss oder 21 Prozent.

Hieraus sieht man, dass der Vortheil dieser neuen Konstrukzion gegen die bisherige Bauart oberschlächtiger Räder, wobei das Wasser vom Scheitel einfällt, desto grösser werde, je mehr das ganze vorhandene Gefälle beträgt. Liegen solche Räder an Bächen oder Teichen, deren Wasserstand veränderlich ist, so kann man bei dem Anwachsen des Wassers durch Regulirung der Schütze den Einfluss in eine höhere Zelle leiten; wenn daher auch der untere Theil des Rades im Wasser watet, so wird dagegen die Höhe der wirksamen Wassersäule oben vergrössert. Bei oberschlächtigen Rädern hingegen muss das Wasser nach der Einrichtung Seite 427 bei jedem Stande immer in dieselbe Zelle einfallen, wogegen der Gang des Rades durch die Anschwellung des Unterwassers erschwert wird. Hieraus ergeben sich nun die Vortheile dieser neuen, in England seit mehreren Jahren eingeführten Einrichtung.

§. 337.

Man hat bei Kropfrädern sehr häufig die Bemerkung gemacht, dass denselben der Stau, welcher hinter dem Rade entsteht, sehr nachtheilig sey und man hat zu dieser Absicht unter der Mitte des Rades einen lothrechten Fall für das Gerinne in Antrag gebracht, um dadurch das Stauwasser bis auf die Höhe des abfliessenden Wassers im Abflussgerinne zu erniedrigen. Diese Höhe wurde auf ½ bis ¾ der Höhe des Radkranzes angenommen. Um hierüber einen Aufschluss zu geben, muss bemerkt werden, dass das Wasser, wesches in den Zellen des Radkranzes mit der Geschwindigkeit v herabfliesst, auch mit derselben Geschwindigkeit aus dem Rade ungehindert ausfliessen müsse, weil sonst das Zurücktreiben des Stauwassers durch die Radschaufeln selbst bewirkt, folglich dieser Verlust dem wirksamen Gefälle entgehen würde. Fig. 1. Tab. 64.

Um hierüber nicht die weitläufige Rechnung, die wir bereits über das nöthige Gefälle in Flüssen und Kanälen in unserer frühern Theorie angeführt haben, zu wiederholen, wollen wir annehmen, dass in dem Wasserabzugskanale für die abzuführende Wassermenge M bereits das Gefälle, die Breite β und die Geschwindigkeit γ des abfliessenden Wassers ausgemittelt sey. Setzen wir nun die Höhe des abfliessenden Wassers in diesem Kanale $= \alpha$, so gibt uns die Gleichung $M = B \,.\, x \,.\, v = \beta \,.\, \alpha \,.\, \gamma$ die nöthige Tiefe $\alpha = \frac{B \,.\, x \,.\, v}{\beta \,.\, \gamma} = \frac{M}{\beta \,.\, \gamma}$. Wird nun diese Höhe von der Oberfläche des Wassers bei seinem Ausflusse, oder die Höhe $\alpha - x$ unter das Kropfgerinne abwärts aufgetragen, so ist von selbst ersichtlich, dass das Wasser ohne Aufstau abfliessen werde.

§. 338.

Wir haben bereits §. 310 bemerkt, dass man bei oberschlächtigen Rädern die Weite der Radkränze immer hinreichend gross annehmen müsse, damit sich die Zellen nur mit einem kleinen Theile ihres Inhaltes, welcher höchstens ein Drittel betragen darf, anfüllen, oder damit die Höhe des Wassers in den Zellen nach der Rechnung nur höchstens den dritten Theil der Höhe des Radkranzes beträgt. Nach diesen Grundsätzen sieht man leicht ein, dass bei einem oberschlächtigen Rade, wenn es mit einer grössern Wassermenge gefüllt wird, auch der Ort des ausfliessenden Wassers hinaufsteigen und daher eine Verminderung der Höhe der wirksamen Wassersäule eintreten muss. Der Effekt des Rades, welcher dem Produkt aus der Wassermenge in diese Höhe proporzional ist, kann sich also nicht nach Verhältniss der zugeleiteten Wassermenge allein vermehren. Hiervon kann man sich leicht durch einen Versuch bei jedem oberschlächtigen Rade überzeugen, wie bereits Seite 431 bemerkt wurde. Wird z. B. auf ein solches Rad, welches Stabhämmer betreibt, einmal irgend eine Wassermenge M und bei einem zweiten Versuche die doppelte Wassermenge 2 M geleitet, so wird man sogleich finden, dass das Rad im zweiten Falle während gleicher Zeit nicht die doppelte Arbeit liefert, oder dass die Hämmer, welche z. B. früher 40 Schläge in einer Minute machten, bei der doppelten Wassermenge nicht 80 Schläge, sondern immer weniger machen werden. Im letztern Falle ist nämlich der Punkt des Ausflusses aus den Zellen erhöht und dadurch die Höhe der wirksamen Wassersäule vermindert worden, wornach nun auch der Effekt für die doppelte Wassermenge nicht zweimal so viel als bei der einfachen Wassermenge betragen kann.

Hieraus sieht man, dass es in allen diesen Fällen vorzüglich darauf ankomme, dem Rade die nothwendige Weite zu geben, in welcher Hinsicht auch alle in neuern Zeiten in England erbauten Räder viel breiter als es früher der Fall war, gemacht und gewöhnlich so berechnet sind, dass sie nur mit dem 5ten oder 6ten Theile des Zelleninhaltes angefüllt werden. Will man aber ein bestehendes Rad so umbauen, dass es z. B. die doppelte Wassermenge aufnehmen könne, so muss dasselbe die doppelte Breite erhalten, damit eine gleich hohe wirksame Wassersäule vorhanden seyn möge.

§. 339.

Fig. 8. Tab. 64. Eine zweite Art den Wasserzufluss oberhalb eines Schutzbretes zu leiten und beliebig zu reguliren, ist Fig. 8 so dargestellt, wie dieselbe im nördlichen Theile von England seit mehreren Jahren üblich ist. An die Sohle a b des gusseisernen Gerinnes wird ein hinreichend grosses starkes Leder befestigt, welches sich bis c an die eisernen Stangen anlegt, und dadurch den Wasserzufluss so wie eine Schütze ganz absperrt. Dieses Leder wickelt sich um die Welle c d, die höher und niedriger gestellt und dadurch auch der Wasserzufluss, welcher bloss über der Welle statt findet, auf einen höhern oder niedrigern Ort am Umfange des Rades geleitet werden kann. Zu diesem Zwecke liegen die Zapfen der Welle c d in dem untern Ende zweier gezähnter Stangen e f, welche durch zwei Getriebe g bewegt werden, die an einer gemeinschaftlichen eisernen Achse fest sitzen und mittelst Kurbeln an dieser Achse bewegt werden

können. Bei der Umdrehung dieser Getriebe werden die Stangen e f und mit denselben auch die Welle d c auf- und abbewegt und dadurch die lederne Schütze auf- oder abgerollt; das Wasser kann sonach an einem beliebigen Punkte des Radkranzes zugeleitet werden und man kann auch mehr oder weniger von den Räumen zwischen den eisernen Stangen öffnen. Damit sich endlich das Leder immer knapp um die Welle c d winde, ist ein Riemen an jedem Ende dieser Welle angebracht, der aber das Schützleder nicht berührt. Dieser geht dann oberhalb dem Wasser über zwei Rollen und wird an seinem Ende durch ein schweres Gewicht straff angezogen. Fig. 8. Tab. 64.

§. 340.

Eine dritte Art **den Zufluss des Wassers mittelst zweier Schützen auf ein Wasserrad zu leiten**, ist in Fig. 9 dargestellt. Dieselbe ist die Skize eines Durchschnittes des Wasserrades, welches in der grossen Spinnerei des Herrn *Strutt* zu *Belper*, 7 englische Meilen von *Derby* aufgestellt ist. Die Breite dieses Rades beträgt 15 Fuss, sein Durchmesser 21,5 Fuss und das Gefälle bei mittlerem Wasserstande 14 Fuss. Dieses Rad liegt an dem Flusse *Derwent*, welcher hier durch ein grosses, halbkreisförmig aus Quadersteinen gebautes Wehr gestaut wird. Die Schüzze besteht aus zwei Theilen a b und c d, wovon der erstere durch die lange Schraube m n, welche durch konische Räder von der Maschine aus betrieben wird, auf- und niedergelassen werden kann. Das obere Schutzbret c d wird durch eine gezähnte Stange mittelst des Getriebes e, an welchem eine Kurbel steckt, aufgezogen und niedergelassen. Fig. 9.

Das Wasser läuft auf das Rad über den obern Rand b des untern Schutzbretes und kann daher bei Anschwellung des Flusses auch höher zugeleitet werden. Lässt man aber das obere Schutzbret c d ganz herab, so wird der Wasserzufluss auf das Rad abgesperrt. Beide Schutzbreter legen sich bei ihrer Bewegung an einen starken gusseisernen Rost an, welcher auf der Hauptschwelle A befestigt ist. Die Schienen B dieses Rostes sind, wie der Durchschnitt zeigt, sehr breit, $1/2$ Zoll dick, $2\,1/2$ Zoll von einander entfernt und so gestellt, dass sie das Wasser in der gehörigen Neigung von dem obern Rande b des untern Schutzbretes a b auf die Schaufeln des Rades leiten. Das obere Schutzbret ist 15 Fuss lang und $2\,1/2$ Fuss hoch, das untere aber eben so lang und 5 Fuss hoch. Wenn daher das Wasser 1 Fuss unter dem obern Rande des obern Schutzbretes steht und das letztere ganz herabgelassen ist, so ist der Druck auf beide Schutzbreter
$= 56{,}4 \,.\, 6{,}5 \,.\, 15 \,.\, 3{,}25 = 17872$ Pfund. Damit nun die Schutzbreter diesen bedeutenden Druck auszuhalten vermögen, sind unmittelbar vor denselben 4 aufrecht stehende eiserne Stangen und zwar 2 an beiden Enden und 2 an dazwischen liegenden Stellen angebracht. Ausserdem sind an dem Schutzbrete grosse Frikzionsrollen befestigt, um die Reibung an diesen eisernen Stangen zu vermindern. Ein Theil der Fabrike wird durch 2 Räder von den obigen Dimensionen betrieben, welche neben einander liegen und nur durch eine Mauer getrennt sind, auf welcher die Wellzapfen ruhen.

Ein jedes Rad hat eine gusseiserne Welle, an welcher sowohl in der Mitte, als an beiden Enden ein 2 Zoll starker und 6 Zoll hoher hervorstehender Rand angegossen ist. An diesen Rand sind schmiedeiserne $3/4$ zöllige Stangen und zwar an den Enden und in

Fig. 9. Tab. 64. der Mitte, theils vertikal, theils in diagonaler Richtung mit Schrauben auf gleiche Art befestigt, wie es bei dem Rade zu *Wässerling* Fig. 5 und 6 Tab. 60 dargestellt ist. An dem obern Ende dieser Stangen ist der Boden des Rades, welcher aus ⅔ Zoll starken Gusseisenplatten besteht, angeschraubt. Die Schaufeln, welche sich an dem Umfange des Rades befinden, sind von Holz, von gleicher Höhe, 40 an der Zahl und stehen winkelrecht auf die Peripherie des Rades. Als Grund hiervon gab Herr *Strutt* dem Herausgeber dieses, welcher am 25ten Jänner 1827 die Fabrike besuchte, an, dass die Höhe des Wassers im Flusse *Derwent* zu veränderlich sey und daher ein Kropfrad zu viel in dem rückstauenden Wasser waten müsse, welches dann bei gebrochenen Schaufeln noch schädlicher wäre, als wenn die Schaufeln am Umfange des Rades winkelrecht stehen. Eine Vorrichtung zum Heben der Räder bei höherem Wasserstande ist hier nicht vorhanden. Da das Wasser in den Zellen dieses Rades nicht so vollkommen gehalten wird, wie in den Zellen der ober- und mittelschlächtigen Räder, indem der Kropf an das Rad nie so vollkommen anschliessen kann, dass nicht ein Theil des Wassers unbenützt abfliesst, so scheint uns die beschriebene Bauart jener eines Kropfrades nachzustehen. Uibrigens kann auch der Rückstau des Wassers bei eintretenden Anschwellungen des Flusses bei einem Rade mit geraden Schaufeln nicht geringer seyn als bei den gebrochenen.

Es ist noch zu bemerken, dass die Regulirung des Wasserzuflusses bei diesem Rade auf gleiche Art wie bei den Dampfmaschinen durch den Gang der Maschinerie erfolgt. Es wird nämlich durch das Wasserrad eine stehende Welle mit zwei an beweglichen Hebeln befestigten Schwungkugeln in Bewegung gesetzt. So wie nun einige Spinn- oder andere Maschinen in der Fabrike, welche das Wasserrad treibt, eingestellt werden, folglich das Wasserrad wegen des geringeren Widerstandes schneller zu gehen anfängt, werden diese Kugeln wie bei den Dampfmaschinen weiter auseinander getrieben, hierdurch ein Hebel bewegt und mittelst desselben die Schütze verhältnissmässig herabgelassen. Auf diese Art wird nun die schnelle Bewegung des Wasserrades wieder vermindert und der gleichförmige Gang desselben, so wie der hiermit in Verbindung stehenden Maschinen bewirkt. Wir werden diesen Mechanismus bei den Dampfmaschinen genauer kennen lernen.

VIII. Kapitel.

Widerstand fester Körper bei ihrer Bewegung in flüssigen.

§. 341.

Wir haben in dem VI. Kapitel des I. Bandes bei der Abhandlung über die freie Bewegung der Körper durch beschleunigende Kräfte versprochen, diesen Gegenstand noch umständlicher, nämlich mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft zu behandeln. Wir wollen uns daher in diesem Kapitel sowohl mit der Untersuchung der Gesetze des freien Falles, als auch der Bahn schiefgeworfener Körper beschäftigen und nebstbei auch den Widerstand untersuchen, welchen feste Körper bei ihrer Bewegung in flüssigen erfahren, um hierauf bei der Bauart und Bemessung der Geschwindigkeit der Schiffe Rücksicht nehmen zu können. Wir werden sodann einige vorzügliche Konstrukzionen der Schiffahrtskanäle nebst Schleussen und Kanalschiffen anführen und am Schlusse dieses Kapitels, womit der II. Band unseres Werkes beendigt wird, eine Darstellung der Kanalschiffahrt in England beifügen.

Es ist allgemein bekannt, dass wenn ein Körper durch irgend eine Kraft in Bewegung gesetzt wird, seine erhaltene Geschwindigkeit, falls keine andere Kraft weiter auf ihn drückt, und er sich in einem widerstehenden Mittel bewegt, nach und nach abnehmen und der Körper endlich zur Ruhe kommen werde. Wird z. B. eine Kugel auf einer horizontalen polirten Tafel gestossen, wo sie ausser dem Widerstande, den die Reibung ihrer Bewegung entgegensetzt, noch den Widerstand der Luft erfährt, so wird durch diese beiden Widerstände die der Kugel zu Anfang des Stosses beigebrachte Geschwindigkeit fortwährend vermindert und die Kugel selbst nach einer gewissen Zeit, deren Dauer von ihrem Durchmesser, der Politur der Fläche, der Dichtigkeit der Luft u. dgl. m. abhängt, endlich zur Ruhe gebracht. Es leuchtet von selbst ein, dass von zwei Flüssigkeiten, deren Dichtigkeiten verschieden sind, die dichtere der Bewegung desselben Körpers bei gleicher Geschwindigkeit einen grössern Widerstand entgegensetzt, als die minder dichte; von der ersten müssen nämlich mehr schwere Theile auf die Seite geschafft werden, als bei der zweiten, wozu also auch eine grössere Kraft nothwendig ist.

Da uns über dasjenige, was bei diesem Gegenstande zu berücksichtigen ist, die Erfahrung die besten Aufschlüsse gibt, so führen wir zuerst nachstehende allgemeine Gesetze an, welche man bei der Bewegung fester Körper in flüssigen beobachtet hat. **1tens.** Der Widerstand richtet sich in einer und derselben Flüssigkeit nach der **Grösse und Gestalt der Oberfläche des Körpers.** Ist diese Fläche eine

Ebene z. B. die vordere Fläche eines Zylinders und die Richtung der Bewegung auf diese Ebene winkelrecht oder nach der Achse des Zylinders, so wächst der Widerstand nach Verhältniss dieser Fläche. **2tens.** Der Widerstand wächst ferner bei übrigens gleichen Umständen mit dem Quadrate der Geschwindigkeit oder der sogenannten Geschwindigkeitshöhe, weil bei einer grössern Geschwindigkeit der Körper in derselben Zeit mehreren Theilen begegnet und weil er diesen Theilen zugleich nach Verhältniss der Geschwindigkeit eine grössere Bewegung mittheilen muss.

Es befinde sich ein Körper unterhalb der Oberfläche des Wassers oder einer andern Flüssigkeit, in welcher derselbe horizontal bewegt werden soll, seine der Richtung der Bewegung winkelrecht entgegenstehende Querschnittsfläche sey $= f$ und die Höhe von dem Schwerpunkte dieser Fläche bis zur Oberfläche des Wassers $= h$, so drückt auf diesen Körper im Zustande der Ruhe nach hydrostatischen Gesetzen das Gewicht der Säule $f \,.\, h$; setzen wir das Gewicht eines Kub. Fusses dieser Flüssigkeit $= w$, so wird der Druck auf diesen Körper sowohl vorwärts als rückwärts $w \,.\, f \,.\, h$ seyn. Wenn aber der Körper in der Flüssigkeit nach der angenommenen horizontalen Richtung mit der Geschwindigkeit v bewegt wird, so wird, wie bereits in den ersten Grundsätzen der Hydraulik gezeigt wurde, zu dem hydrostatischen Drucke $w \,.\, f \,.\, h$ noch jener hinzukommen, welcher zur Höhe die, der Geschwindigkeit v entsprechende Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}$ hat. Wenn sich daher die Fläche f des Körpers mit der Geschwindigkeit v bewegt, so ist der Druck auf die vordere Seite $= w \,.\, f\left(h + \frac{v^2}{4g}\right)$ und der Druck an die hintere Seite $= w \,.\, f\left(h - \frac{v^2}{4g}\right)$. Da diese beiden Kräfte einander entgegen wirken, so wird man für die Grösse des Widerstandes, welchen die bewegte Fläche f erfährt, $w \,.\, f\left(h + \frac{v^2}{4g}\right) - w \,.\, f\left(h - \frac{v^2}{4g}\right) = w \,.\, f \cdot \frac{2\,v^2}{4g}$ erhalten. Der Widerstand, welcher auf die Fläche wirkt, ist daher dem Gewichte einer Säule der Flüssigkeit gleich, welche die Fläche f zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat.

Der Fall, dass der Druck an die hintere Fläche $= h - \frac{v^2}{4g}$ ist, findet nur bei kleinen Geschwindigkeiten Statt, wo $\frac{v^2}{4g}$ kleiner als h ist. Bei grössern Geschwindigkeiten kann die Flüssigkeit hinter dem bewegten Körper nicht so schnell zusammen fliessen, um die hintere Fläche zu erreichen. Wenn endlich die Geschwindigkeit des Körpers sehr gross, folglich die Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{4g}$ so bedeutend ist, dass die hydrostatische Wassersäule h dagegen ausser Acht gelassen werden kann, so drückt bloss an die vordere Fläche eine Säule von der Höhe $\frac{v^2}{4g}$; in diesem Falle ist daher der Widerstand $= w \cdot f \cdot \frac{v^2}{4g}$.

Man sieht aus diesen Betrachtungen überhaupt, dass es bei der Bemessung des Widerstandes, den ein Körper bei seiner Bewegung in einer Flüssigkeit erleidet, nicht bloss auf den Widerstand der vordern Fläche ankommt, sondern auch auf den Druck an die hintere Fläche, welcher der Bewegung des Körpers bei der Uiberwindung dieses Widerstandes zu Hilfe kommt.

§. 342.

Wenn die vordere Fläche des bewegten Körpers A B mit der Richtung seiner Bewegung Q S keinen rechten Winkel macht, sondern einen Winkel B S R $= \alpha$ bildet, so müssen wir in Hinsicht, als der Körper in jedem Punkte seiner Bahn noch immer mit der ganzen Fläche A B die Flüssigkeit berührt, auch den Widerstand der Flüssigkeit dieser Fläche proporzional setzen und annehmen, dass alle Punkte dieser Fläche mit der Kraft $m \cdot w \cdot f \cdot \frac{v^2}{4g}$ fortgetrieben werden, wo m einen durch Versuche zu bestimmenden Koeffizienten bezeichnet. Setzen wir nun diesen Druck $=$ R S, so können wir denselben in zwei Theile zerlegen, wovon S U winkelrecht auf die Fläche und S V parallel zu derselben wirkt. Der erste Druck ist S U $= m \cdot w \cdot f \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \sin \alpha$, und mit dieser Kraft werden die nächst anliegenden Theile des widerstehenden Mittels nach der Richtung S U winkelrecht auf die Fläche fortgetrieben. Der zweite Druck S V veranlasst eine parallele Bewegung zu dieser Fläche, welche nur die Theile der Flüssigkeit nach dieser Richtung in Bewegung setzen, den bewegten Körper selbst aber nicht hindern kann. Fig. 1. Tab. 65.

Uiber diese Theorie, welche von den Ansichten anderer Schriftsteller abweicht, ist zu bemerken, dass man hierbei glaubte, den **Druck** des bewegten Körpers an die Flüssigkeit von der **Bewegung**, nach welcher die Flüssigkeit fortgetrieben wird, unterscheiden zu müssen. **Der Druck an die Flüssigkeit** ist in allen Punkten der Säule $\frac{v^2}{4g}$ proporzional, ohne Rücksicht, nach welcher Richtung die Flüssigkeit selbst in Bewegung gesetzt wird, weil dieser Druck offenbar dem Körper eigen ist, und von dem, was hieraus erfolgt, noch nicht abhängen kann. Auf gleiche Art ist in der Hydrostatik der winkelrechte Druck an jedes Element einer schiefen Fläche dem Produkte aus der Fläche dieses Elementes in die ganze darüber befindliche Wasserstandshöhe gleich, obschon die Fläche mit der Höhe und Richtung der Schwere einen Winkel bildet.

Auf gleiche Art ist hier der Druck, mit welchem die flüssigen Theile fortgetrieben werden, nach den Gesetzen der Hydrostatik der Anzahl der Theile proporzional, welche an dieser Fläche liegen. Stellen wir uns z. B. diese Theile durch kleine Kugeln vor, so liegen 5 Theile an der Fläche A B, während in der winkelrechten Projekzion nur 3 solche Theile vorhanden sind. Nach den Gesetzen der Hydrostatik werden die 5 Theile insgesammt nach der Richtung A A′ gedrückt, in welcher die Fläche selbst gedrückt wird, und bei der Bewegung legen alle diese Theile gleiche Räume zurück, so dass der Inhalt der bewegten Flüssigkeit dem Produkte aus der Anzahl der Theile in A B mit dem Raume eines jeden solchen Theiles gleichkommt, obschon man nach den Gesetzen der Geometrie den Inhalt der bewegten Flüssigkeit nur dem Inhalte des Parallelogrammes A A′ B′ B $=$ A A′ . A′ B oder dem Produkte aus der Geschwindigkeit in die winkelrechte Projekzion der Fläche gleich zu setzen hätte. Der Unterschied liegt offenbar darin, weil die bewegten Theile nicht bloss die Fläche erfüllen, sondern hinter einander fortgehen. Fig. 2.

§. 343.

Uiber den Stoss gegen schiefe Flächen wurden bisher Versuche von zweierlei Art angestellt. Die ersten betreffen nämlich den **Stoss eines isolirten Wasserstrahles gegen die unbegränzte Fläche eines festen Körpers**; die zweiten hingegen betreffen den **Stoss eines festen Körpers gegen die unbegränzte Flüssigkeit.**

Fig. 3. Tab. 65. Für den ersten Fall sey A B die Richtung des Wasserstrahles und M N sey die Fläche, welche gegen die Richtung des Strahles A B unter dem Winkel A B M $= \alpha$ geneigt ist und gegen welche der Strahl seinen Druck ausübt. Man zerlege die Kraft A B in die auf die Fläche winkelrechte D B und in die parallele C B. Setzen wir die Kraft des anstossenden Wasserstrahles A B = K, so ist die winkelrechte D B $= K \cdot \sin \alpha$ und die parallele C B $= K \cdot \cos \alpha$. Mit der ersten Kraft wird die Fläche nach der Richtung D B winkelrecht zur Fläche getrieben; wenn aber die Fläche so gestellt ist, dass sie nur nach der Richtung des Wasserstrahles A B ausweichen kann, so müssen wir die Kraft D B noch in E B parallel zum Wasserstrahl und in F B winkelrecht auf die Richtung des Wasserstrahles zerlegen. Die erste Kraft ist E B $= D B \cdot \sin \alpha = K \cdot \sin^2 \alpha$; also **wird die Kraft, womit die schiefe Fläche nach der Richtung des Wasserstrahles fortgetrieben wird, nur $= K \cdot \sin^2 \alpha$ seyn.** Es wird sich daher der zur Richtung der Kraft parallele Stoss an die schiefe Fläche zum Stoss an die winkelrechte Fläche wie $\sin^2 \alpha : 1$ verhalten.

Setzen wir, die Richtung des Wasserstrahles sey die Richtung einer Röhre, deren Querschnittsfläche f ist, so haben wir bereits §. 257 gezeigt, dass die Kraft A B, wenn sie an eine Fläche winkelrecht anstösst $= 56{,}4\, f \cdot \frac{v^2}{2g}$ ist. Demnach wird die Kraft, welche die Fläche bei der schiefen Stellung auszuhalten hat $= 56{,}4\, f \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha$ seyn. Die Richtigkeit dieser Sätze wird durch eine grosse Reihe von Versuchen des Herrn *Langsdorf* vollkommen bestättigt, aus denen wir nach Herrn *Eytelwein* nur nachstehende Versuche herausheben.

Nro. der Versuche.	Wasserhöhe in pariser		Grösse des Einfallwinkels.		Beobachteter Wasserstoss in Nürnberger Pfund.	Verhältniss des beobachteten Wasserstosses.	Verhältniss des Wasserstosses nach der Theorie.
	Zoll.	Lin.	Grad.	Min.			
1	39	1	90	—	6,3250	1,000	1,000
2	39	1	70	16	5,6700	0,896	0,886
3	39	2	60	16	4,5583	0,721	0,754
4	39	5	50	46	3,3933	0,536	0,600
5	39	5	39	46	2,5450	0,402	0,409
6	39	1	30	16	1,8685	0,295	0,254
7	39	1	26	16	1,1500	0,182	0,196

§. 344.

Uiber den Widerstand, welchen feste Körper bei ihrer Bewegung in flüssigen erfahren, haben in Frankreich *d'Alembert, Condorcet* und *Bossut* im Jahre 1775 und dann wieder *Bossut* und *Condorcet* im Jahre 1778 vielfältige Versuche angestellt. In einen grossen Wasserbehälter in *Paris* wurden nämlich prismatische Gefässe gebracht, an das vordere keilförmige Ende derselben ein Seil gebunden, dieses über zwei Rollen geführt und nun mittelst angehängter Gewichte an dem Ende dieses Seiles die Bewegung der im Wasser eingetauchten Gefässe beobachtet. Während der ersten Augenblike war die Bewegung beschleunigt, allein sie wurde in kurzer Zeit gleichförmig, wobei man daher die Schwere des angehängten Gewichtes als eben so gross wie den Widerstand des Wassers, welcher bei der beobachteten gleichförmigen Geschwindigkeit entsteht, annehmen muss.

Da der Widerstand, welchen feste Körper bei ihrer Bewegung im Wasser erleiden, für die Bauart der Schiffe und die Schiffahrt überhaupt von grösster Wichtigkeit ist, so haben nicht bloss die französischen, sondern auch die englischen Gelehrten hierüber Versuche angestellt, deren Resultate jedoch bisher keineswegs so übereinstimmend sind, um hieraus die absolute Grösse des Widerstandes für jeden Fall bestimmt angeben zu können. Eine Zusammenstellung der vorzüglichsten Versuche dieser Art findet sich in dem Werke: „*A treatise of Mechanics, theoretical, practical and descriptive, by Olinthus Gregory, 3d. edition, London* 1815." Hiervon ist eine deutsche Übersetzung von Herrn *Dietlein*, Lehrer an der k. preussischen Bauakademie im J. 1828 erschienen, in welcher nebstbei noch in einer besondern Beilage die Versuche und Beobachtungen über den Widerstand des Wassers vom Obersten *Beaufoy*, Mitgliede der k. Sozietät enthalten sind. Diese Versuche wurden aus den *Annals of Philosophy*, Aprilheft 1822 übersetzt.

Man bediente sich bei Anstellung dieser Versuche verschiedenartig gestalteter prismatischer Gefässe, welche auf grosse Behälter gesetzt und deren Bewegung mittelst eines Gewichtes hervorgebracht wurde, welches an dem Gefässe befestigt war und dann über ein paar Rollen ging, um den horizontalen Widerstand des Schiffes durch die senkrechte Bewegung des Gewichtes bemessen zu können. In allen Versuchen war der winkelrechte Querschnitt der Gefässe ein Quadratfuss. Bei der ersten Versuchsreihe hatte das Gefäss, wie der Grundriss und die Ansicht Fig. 4 zeigt, die Länge am Vordertheile ab = 3 Fuss, den Mitteltheil bc = 1 Fuss und ce = 1 Fuss, dann die Länge des hintern Theiles cd = 4 Fuss 6 Zoll. (Fig. 4. Tab. 65.) Nebstbei wurden dieselben Versuche mit einem zweiten Gefässe Fig. 5 angestellt, welches denselben Vorder- und Mitteltheil, jedoch keinen Hintertheil hatte. (Fig. 5.) Da auf diese Art beide Gefässe Fig. 4 und 5 einander im Vorder- und Mitteltheile gleich sind, so muss der Unterschied der Widerstände, nach Abzug der Reibung des Wassers (der in allen Fällen vorgenommen wurde) von der Gestalt der Hintertheile abhängen. Beide Körper Fig. 4 und 5 wurden in der, durch den Pfeil angezeigten Richtung auf einem grossen Wasserbehälter durch Gewichte, welche an einer Schnur senkrecht über Rollen herabgingen, in Bewegung gesetzt und der Zustand der gleichförmigen Bewegung abgewartet. Die Gewichte, welche in

Fig. 4 und 5. Tab. 65. diesem Falle bei verschiedenen Geschwindigkeiten erfordert wurden, sind in der folgenden Tabelle enthalten. Die Differenz der Gewichte, welche die Körper Fig. 4 und 5 in jedem Falle bewegten, gibt den sogenannten **verneinten Druck**, nämlich $56{,}4\, f\left(h - \frac{v^2}{4g}\right)$, welcher bloss von der Verschiedenheit der Hintertheile herrührt und desswegen der verneinte genannt wird, da er dem vordern Drucke zu Hülfe kommt, demnach von der bewegenden Kraft der vordern Fläche abgezogen werden muss. Die Dimensionen der Körper sind im englischen Längenmaasse, die erforderlichen Gewichte aber in englischen Pfunden *Avoir du poids* angegeben.

I. **Tabelle**, für ab = 3 Fuss, bc = 1 Fuss, ce = 1 Fuss und cd = 4,5 Fuss.

	Geschwindigkeit in Fussen auf die Sekunde.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Widerstand des Körpers 4 in Pfd.	0,2512	0,9982	2,2001	3,817	5,813	8,153	10,811	13,756	16,959	20,400	24,060	27,890
Widerstand des Körpers 5 in Pfd.	0,3730	1,4902	3,3104	5,793	8,899	12,594	16,843	21,619	26,891	32,640	38,830	45,424
Unterschied od. verneinter Druck	0,1218	0,4920	1,1103	1,976	3,086	4,441	6,032	7,863	9,932	12,240	14,770	17,534

Fig. 6 und 7. Zur bessern Begründung der vorigen Versuche bediente man sich der Körper Fig. 6 und 7; hierbei sind abermals die Vorder- und Mitteltheile gleich, allein die erstern bilden Kreisbogen, während der Hintertheil bei Fig. 6 wie bei Fig. 4 keilförmig geformt, bei Fig. 7 aber nicht vorhanden ist. Der Querschnitt durch gi ist abermals 1 Quadr. Fuss, allein der Widerstand beträgt bei den verschiedenen Geschwindigkeiten durchaus mehr, als bei Fig. 4 und 5, wo der Vordertheil keilförmig war. Diess bestättigen auch andere Erfahrungen, indem es z. B. bekannt ist, dass alle spitzigen oder schneidigen Körper das Wasser weit leichter durchschneiden als stumpfe. Auch sind jene Fische, welche schneller schwimmen, z. B. die Raubfische, mit spitzigern oder schneidigern Köpfen versehen, als andere. Die Resultate der Versuche mit den Körpern Fig. 6 und 7 enthält nachstehende Tabelle:

II. **Tabelle**, für fg = 1 Fuss, gi = 1 Fuss und gh = 4,5 Fuss.

	Geschwindigkeit in Fussen auf die Sekunde.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Widerstand des Körpers 6 in Pfd.	0,2362	0,9766	2,2148	3,935	6,118	8,747	11,805	15,275	19,140	23,397	28,010	32,980
Widerstand des Körpers 7 in Pfd.	0,3978	1,5841	3,5121	6,136	9,415	13,312	17,794	22,826	28,378	34,430	40,940	47,900
Unterschied..................	0,1616	0,6075	1,2973	2,201	3,297	4,565	5,989	7,561	9,238	11,033	12,930	14,920

Die nächsten Versuche wurden mit solchen Körpern angestellt, wobei die Seiten Fig. 8 bis 13. des Keiles wenigstens $4\frac{1}{2}$ mal so lang sind, als die Grundfläche breit ist. Die hintern Enden der Körper Fig. 9, 11 und 13 waren kürzer, als die der Körper 8, 10 und 12, indem die Seiten bei jenen nur 3 Fuss. bei diesen aber $4\frac{1}{2}$ Fuss lang waren. Nachstehende drei Tafeln enthalten die Resultate der Versuche mit diesen Figuren, und rechtfertigen den

Schluss, dass der verneinte Druck bei den Körpern, deren Hintertheile wenigstens $4\frac{1}{2}$ mal so lang als die Breite derselben sind, so klein ist, dass er als = 0 angesehen, und daher weggelassen werden kann.

III. Tabelle

	Geschwindigkeit in Fussen auf die Sekunde.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Widerstand d. Körpers 8 in Pfd.	0,2512	0,9982	2,2001	3,817	5,813	8,153	10,811	13,756	16,959	20,400	24,060	27,89
Widerstand d. Körpers 9 in Pfd.	0,2149	0,8820	1,9887	3,514	5,437	7,741	10,402	13,406	16,734	20,371	24,300	28,50
Unterschied	0,0363	0,1162	0,2114	0,303	0,376	0,412	0,409	0,350	0,225	0,029	0,240	0,61

IV. Tabelle.

	Geschwindigkeit in Fussen auf die Sekunde.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Widerstand des Körpers 10 in Pfd.	0,2362	0,9766	2,2148	3,935	6,118	8,747	11,805	15,275	19,140	23,397	28,010	32,98
Widerstand des Körpers 11 in Pfd.	0,2410	0,9962	2,2599	4,017	6,247	8,939	12,071	15,625	19,590	23,953	28,700	33,80
Unterschied..................	0,0048	0,0196	0,0451	0,082	0,129	0,192	0,266	0,350	0,450	0,556	0,690	0,82

V. Tabelle.

	Geschwindigkeit in Fussen auf die Sekunde.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Widerstand des Körpers 12 in Pfd.	0,9061	3,6211	8,089	14,252	22,057	31,466	42,429	54,908	68,870	84,280	101,10	119,29
Widerstand des Körpers 13 in Pfd.	0,9322	3,7081	8,258	14,517	22,430	31,945	43,020	55,610	69,690	85,160	102,07	120,48
Unterschied..................	0,0261	0,0870	0,169	0,265	0,373	0,479	0,591	0,702	0,820	0,880	0,97	1,19

Man könnte aus den Tafeln I und II schliessen, dass unter allen Formen, welche das Hintertheil erhalten kann, die stumpfste jene sey, bei welcher der verneinte Druck am grössten wird. Um hierüber ein bestimmtes Resultat zu erhalten, wurden noch die Widerstände für die Figuren 14, 15, 16 ausgemittelt. Von denselben ist Fig. 16 mit Fig. 5 einerlei, indem sie ein quadratisches Hintertheil hat; Fig. 15 ist einerlei mit Fig. 11, wenn diese umgedreht, d. h. wenn das Hintertheil zum Vordertheil gemacht wird und umgekehrt; endlich ist das Hintertheil von Fig. 14 ein gleichseitiges Dreieck. Die Ergebnisse dieser Versuche enthält nachstehende Tabelle. Fig. 14 bis 16. Tab. 65.

VI. Tabelle.

	Geschwindigkeit in Fussen auf die Sekunde.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Widerstand d. Körpers 14 in Pfd.	0,4526	1,7924	3,9619	6,908	10,582	14,944	19,954	25,574	31,770	38,510	45,780	53,530
Widerstand d. Körpers 15 in Pfd.	0,2766	1,1437	2,5967	4,620	7,194	10,504	13,930	18,059	22,670	27,760	33,300	39,270
Widerstand d. Körpers 16 in Pfd.	0,3730	1,4902	3,3104	5,7930	8,899	12,594	16,843	21,619	26,891	32,640	38,830	45,424

Es ist auffallend, dass ein Hintertheil in Form eines gleichseitigen Dreieckes den verneinten Druck nicht nur nicht vermindert, sondern sogar vermehrt und dagegen ein kreisförmiges Hintertheil den verneinten Druck vermindert. Wurde ein gleichseitiges Dreieck an der Grundlinie eines gleichschenklichen angebracht, so vermehrte sich der Widerstand nahe an der Oberfläche bedeutend, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht. Ein Keil von 43 Fuss Länge, 4,75 Fuss Breite und 1,28 Fuss Dicke, der mit dem Wasser eben eingetaucht war, erforderte eine bewegende Kraft von 395,5 Pfunden, wenn seine Schärfe das Wasser mit 12 Fuss Geschwindigkeit in der Sekunde durchschneiden sollte. Befestigte man an denselben ein Hintertheil in Form eines gleichseitigen Dreieckes, so waren zur Hervorbringung derselben Geschwindigkeit 470 Pfund erforderlich, also 74,5 Pfund mehr. Dass sowohl die Gestalt als die Länge dazu beitrugen, um den verneinten Druck zu vermindern, geht aus der Vergleichung der Versuche mit den Figuren 14 und 15, Tab. VI. hervor. Aus der Vergleichung aller 6 Tabellen ergeben sich zwar die angeführten interessanten Folgerungen, allein dieser Gegenstand erfordert zu seiner gründlichen Behandlung noch weit mehrere mit Genauigkeit anzustellende Versuche.

§. 345.

In den *Philosophical transactions* vom Jahre 1828 befinden sich nachstehende interessante Versuche, welche der *Civil-Ingenieur James Walker* zu *London* über den Widerstand, welchen Boote bei ihrer Bewegung im Wasser erfahren, im Jahre 1827 anstellte. Diese Versuche wurden vorzüglich zu dem Zwecke gemacht, um die Vermehrung des Widerstandes zu bestimmen, welchen ein Kanalschiff bei Zunahme seiner Geschwindigkeit erleidet. Da man nämlich in den letztern Jahren in England, wie wir bereits in dem I. Bande unsers Werkes berichteten, mehrere sehr bedeutende Eisenbahnen anlegte und aus Versuchen nachwies, dass die Kraft zur Fortschaffung eines beladenen Wagens bei einer gut gelegten und wohl unterhaltenen Eisenbahn für jede Geschwindigkeit dieselbe sey (Siehe §. 583, I. Band), so verfielen die Eigenthümer der bestehenden Kanäle auf den Gedanken, Dampfschiffe auf denselben einzuführen, um wo möglich einen eben so schnellen Transport der Waaren zu bewirken, als es auf den Eisenbahnen der Fall ist. Die Untersuchung der Frage, in welchem Verhältnisse der Widerstand eines Kanalschiffes bei grösserer Geschwindigkeit zunehme, war daher für die Unternehmer der Kanäle und Eisenbahnen von grosser Wichtigkeit, da man in England die Schnelligkeit des Verkehrs als eine vorzügliche Bedingniss des Aufschwunges der Nazionalindustrie ansieht.

Herr *Walker* bemerkt in der Einleitung zu seinen Versuchen, dass die in *Frankreich* angestellten Versuche mit Körpern von allzu geringen Dimensionen und nur für eine Geschwindigkeit von höchstens 2½ engl. Meilen in der Stunde (3,5 N. Oe. Fuss in der Sekunde) gemacht wurden. In allen diesen Fällen habe überdiess die Reibung an den Rollen, die Reibung des im Wasser herabhängenden Seiles, die Kürze des Raumes, innerhalb welchem die gleichförmige Bewegung Statt fand, einen allzu grossen Einfluss genommen, als dass man aus den Resultaten solcher Versuche mit Verlässlich-

keit jenen Widerstand bestimmen könne, der bei grössern Körpern, z. B. Kanalschiffen und bei einer grössern Geschwindigkeit derselben entsteht.

Zur Beseitigung aller dieser Anstände wurden die Versuche mit zwei Booten gemacht, wovon das erste Fig. 17, 18 und 19, das zweite aber Fig. 20, 21 und 22 in der Längenansicht, Querdurchschnitt und Grundriss dargestellt ist. Diese Boote wurden mit Balast gefüllt und in den grossen künstlich hergestellten Hafen zur Aufnahme der von Ostindien kommenden Schiffe (*East India Import Dock*) gebracht; dieser Wasserbehälter ist 1410 Fuss lang, 560 Fuss breit und 24 Fuss tief; man konnte daher annehmen, dass das Schiff durch keinen Rückstau des Wassers, als welcher unmittelbar durch die Bewegung desselben veranlasst wird, in seiner Bewegung aufgehalten werde. An dem Vordertheile des Schiffes war ein Kraftmesser zwischen dem Schiffe und dem Seile befestigt, welcher daher unmittelbar am Schiffe die Kraft anzeigte, die der Zug des letztern erforderte. Der Kraftmesser wurde vor und nach seinem Gebrauche durch angehängte Gewichte untersucht. Das Seil wurde mittelst einer am festen Lande aufgestellten Winde mit zwei Kurbeln aufgewunden und hiermit das Schiff angezogen. Die Gleichförmigkeit der Bewegung der Arbeitsleute wurde nach einiger Uibung mit Hilfe eines seitwärts aufgestellten Pendels bewirkt, indem die Arbeiter die Bewegung der Kurbeln den Oscillazionen des Pendels entsprechend vornahmen. Ein Raum von $^1/_{10}$ engl. Meile = 176 *yards* = 528 engl. Fuss wurde nun beiläufig in der Mitte des Wasserbehälters durch am Ufer aufgestellte Stangen bezeichnet und man versicherte sich von der gleichförmigen Bewegung des Schiffes dadurch, dass dasselbe bereits vor dem Eintritte in diesen Raum eine gleiche Länge zurücklegte. Auf dem Schiffe selbst befanden sich 3 Personen, wovon eine von 2 zu 2 Sekunden die Zugkraft an dem Index des Kraftmessers ablas, die zweite dieselbe niederschrieb und ein dritter Mann das Boot regierte. Es leuchtet von selbst ein, dass die Kraft zur Bewegung des im Wasser herabhängenden Seiles, die Reibung an den Rollen und alle übrigen bei andern Versuchen Statt gehabten Widerstände hier nicht vorhanden waren, indem der Kraftmesser jedesmal genau die Anzahl Pfunde bezeichnete, welche zum unmittelbaren Zuge des Schiffes erfordert wurden.

Fig. 17 bis 22. Tab. 65.

Fig. 23.

Die Versuche in der Tabelle I wurden in einem Boote gemacht, worin sich nebst den 3 Personen noch 42 Zentner Ladung befand. Die Länge dieses Bootes über der Oberfläche des Wassers war 18,5 Fuss, seine Breite 6 Fuss, die Tiefe, auf welcher es eingetaucht war, 2 Fuss. Die ganze Tiefe oder Höhe des Bootes betrug 3 Fuss, es ragte demnach 1 Fuss über dem Wasser hervor und der grösste eingetauchte Querschnitt war 9 Quad. Fuss. Die Versuche in der Tabelle II wurden mit demselben Boot, jedoch bloss mit 2 Tonnen Ballast gemacht.

Die zweite Kolumne enthält die Anzahl Sekunden, in welchen das Boot 176 *yards* oder $^1/_{10}$ engl. Meile mit gleichförmiger Bewegung zurücklegte, die dritte Kolumne die hiernach berechnete Geschwindigkeit in engl. Meilen und Theilen derselben, die vierte Kolumne den wirklichen Widerstand bei der Bewegung des Bootes oder die Anzahl Pfunde, welche der Kraftmesser anzeigte. Die fünfte Kolumne enthält die Berechnung desselben Widerstandes unter der Voraussetzung, dass derselbe mit dem Quadrate

der Geschwindigkeit zunimmt, wobei aber in Tab. I der Versuch Nr. 5 und in Tab. II der Versuch Nr. 4 zum Grunde gelegt und hiernach die andern Geschwindigkeiten berechnet sind.

I. Tabelle.

Nro. der Versuche	1 Anzahl Sekunden für 176 yards	2 Geschwindigkeit in englischen Meilen in 1 Stunde	3 Gefundener Widerstand in englischen ℔	4 Berechneter Widerstand für Nro. 5 als Basis
1	124	2,903	15,75	15,04
2	85	4,235	39,50	32,00
3	146	2,466	10,00	10,85
4	140	2,571	11,00	11,79
5	145	2,483	11,00	11,00
6	140	2,571	12,00	11,79
7	120	3,000	14,00	16,06
8	120	3,000	14,00	16,06

II. Tabelle.

Nro. der Versuche	1 Anzahl Sekunden für 176 yards	2 Geschwindigkeit in englischen Meilen in 1 Stunde	3 Gefundener Widerstand in englischen ℔	4 Berechneter Widerstand für Nro. 4 als Basis
1	79	4,557	44,85	38,59
2	80	4,500	40,32	37,64
3	93	3,871	28,07	27,85
4	94	3,830	27,26	27,26
5	78	4,615	49,34	39,58
6	141	2,553	10,03	12,11
7	142	2,535	9,47	11,94
8	142	2,535	9,52	11,94
9	142	2,535	10,10	11,94
10	143	2,517	9,23	11,77

Der mittlere Widerstand von Nro. 7, 8 und 10 in der Tabelle II beträgt 9,41 Pfund und die zugehörige Geschwindigkeit 2,529 Meilen. Der mittlere Widerstand von Nro. 1 und 2, wo die grösste Geschwindigkeit Statt hatte, ist 42,59 Pfund und die Geschwindigkeit 4,529 Meilen in der Stunde. Berechnet man nach dem ersten Resultate den Widerstand nach dem Quadrate der Geschwindigkeiten, so würde er 30,18 ℔ betragen, wogegen derselbe 42,59 ℔ war. Aehnliche Resultate ergeben sich auch bei Vergleichung der andern Geschwindigkeiten und der zugehörigen Widerstände.

Nachstehende Versuche wurden mit dem Fig. 17 bis 19 dargestellten Boote gemacht, dessen Länge 28 Fuss betrug; da jedoch dieses Boot allzu leicht und der Wirkung des Windes zu viel ausgesetzt war, so wurde das schmälere Boot, womit die Versuche Tab. I und II angestellt wurden, später wieder gebraucht. Nachstehende Tabelle enthält die Resultate von 5 Versuchen, welche mit dem grösseren Boote gemacht wurden.

Nro. der Versuche	1. Anzahl Sekunden für 176 yards	2. Geschwindigkeit in englischen Meilen in 1 Stunde	3. Gefundener Widerstand in englischen ℔	4. Berechneter Widerstand für Nro. 1 als Basis
1	162	2,222	13,08	13,08
2	187	1,925	11,00	9,82
3	89	4,045	47,26	43,35
4	87	4,138	49,50	45,36
5	137	2,628	18,10	18,30

Einige andere Versuche wurden mit einem schmalen *Themse*-Boote gemacht, wobei die Entfernung 80 *yards* betrug. Die mittlere Geschwindigkeit war bei 4 Versuchen 106 *yards* in der Minute oder 3,61 Meilen in der Stunde und der wirkliche Widerstand 10,4 ℔. Bei 4 andern Versuchen war die Geschwindigkeit 160 *yards* in der Minute oder 5,45 Meilen in der Stunde, während der Widerstand schon 29 ℔ betrug, obgleich er im Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeit gegen die ersten 4 Versuche nur 23,70 ℔ betragen sollte.

Aus diesen Versuchen schliesst Herr *Walker*, dass der Widerstand eines Bootes bei grössern Geschwindigkeiten in einem stärkern Verhältnisse als dem Quadrate dieser Geschwindigkeiten zunehme; da diess jedoch im unbegränzten Wasser Statt fand, wofür man den grossen Behälter im Vergleiche der gebrauchten Boote ansehen kann, so werde dieser Widerstand noch weit mehr bei Kanälen betragen. Als Folgerung hieraus stellt Herr *Walker* den Satz auf: Nimmt man an, dass 30 Tonnen auf einem Kanal und 7½ Tonnen auf einer horizontalen Eisenbahn mit derselben Geschwindigkeit von 2½ engl. Meilen in der Stunde von gleicher Kraft fortgezogen werden, so müsste bei einer Geschwindigkeit von 5 Meilen in der Stunde der Widerstand auf der Eisenbahn und dem Kanale einander gleich seyn, wenn man die Vermehrung des Widerstandes auf dem Kanale im Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeit annimmt. Nach dem Resultate der angeführten Versuche sind jedoch die Widerstände auf dem Kanale und der Eisenbahn schon bei einer Geschwindigkeit gleich, welche weit weniger als 4 Meilen in der Stunde beträgt. So oft daher ein Transport oder Verkehr mit einer Geschwindigkeit von 4 engl. Meilen oder mehr in der Stunde Statt finden soll, verdient eine Eisenbahn der Anlage eines Kanales vorgezogen zu werden.

Hieraus sieht man, warum in neuern Zeiten die Eisenbahnen in England einen so entschiedenen Vorzug vor Kanälen erhielten und warum sie denselben ohne Rücksicht auf Baukosten und andere Umstände verdienen, wenn die Transporte mit grösserer Geschwindigkeit vorgenommen werden sollen.

§. 346.

Nach diesen Voreinleitungen kommen wir zu der im I. Bande versprochenen **Abhandlung über den freien Fall und über die Bahn geworfener Körper im widerstehenden Mittel.** Da wir in dem Vorhergehenden gesehen haben, dass der Widerstand nicht bloss von der Gestalt der vordern, sondern auch von der hintern Fläche eines Körpers abhängt, in jedem Falle aber dem Quadrate der Geschwindigkeit proporzional gesetzt werden kann, so wollen wir den winkelrechten Widerstand gegen eine ebene Fläche $= m \cdot w \cdot f \cdot \frac{v^2}{4g}$ setzen und annehmen, dass m durch Versuche bestimmt werden müsse. Wir wollen nun zuerst das Verhältniss des Widerstandes einer krummen Oberfläche zum Widerstande auf ihre, zur Richtung der Bewegung vertikale Projekzionsfläche untersuchen und hierzu die **Oberfläche einer Kugel** wählen.

Es sey demnach J C die Richtung, nach welcher die Kugel mit der Geschwindigkeit v im widerstehenden Mittel getrieben wird. Da sich alle Punkte der Kugel mit

Fig. 24. Tab. 65. der Geschwindigkeit v bewegen müssen, so wird jedes Element A M der Oberfläche der Kugel, dessen Fläche wir = f setzen wollen, den Widerstand $m \cdot w \cdot f \cdot \frac{v^2}{4g}$ erfahren, dieser Widerstand sey = A B. Wird derselbe in A D nach der Richtung des Halbmessers und in A E parallel zur Oberfläche zerlegt, so ist wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke A D B und C A O die Kraft $AD = AB \cdot \frac{CO}{AC}$. Dieselbe Kraft findet sich an der entgegen gesetzten Seite in a, wenn H A = H a gesetzt wird. Nun können wir diese zwei Kräfte als Widerstände betrachten, welche der Kugel in den Richtungen der Halbmesser A C und a C begegnen. Weil aber diese zwei Kräfte mit einander den Winkel A C a bilden, so können wir eine jede derselben wieder in zwei andere zerlegen, wovon die eine $ag = AG = AD \cdot \frac{CO}{CA} = AB \left(\frac{CO}{CA}\right)^2$ nach der Richtung der Bewegung und die andere a f = A F winkelrecht auf die Richtung der Bewegung wirkt. Da die letzteren F A und f a in entgegen gesetzten Richtungen wirken, so heben sie sich auf; die erstern G A und g a wirken aber nach der parallelen Richtung H J, es wird daher ihre Summe $2\,AB\left(\frac{CO}{CA}\right)^2$ den Widerstand der beiden Elemente in A und a geben.

Wenn wir uns um den Mittelpunkt O dieser Kräfte mit dem Halbmesser A O einen Kreis denken, dessen Fläche auf die Richtung H J winkelrecht ist, so sehen wir, dass in allen Punkten der Peripherie dieses Kreises immer zwei einander gegenüberstehende Elemente denselben Widerstand ausüben; es wird demnach der Widerstand der Zone A M m a dem Flächeninhalte dieser Zone multiplizirt mit dem Widerstande eines jeden Punktes der Zone gleich seyn, und derselbe ist $= AM \cdot 2\pi \cdot AO \cdot AG = AM \cdot 2\pi \cdot AO \cdot AB\left(\frac{CO}{CA}\right)^2$. Setzen wir statt A B seinen Werth, so ist der Widerstand der Zone $= AM \,.\, 2\pi \,.\, AO \,.\, m \,.\, w \cdot \frac{v^2}{4g}\left(\frac{CO}{CA}\right)^2$, wo f die Flächeneinheit für jeden Punkt ist. Nach der unten beigefügten höhern Rechnung*) ist der Widerstand der vordern halben Kugeloberfläche $= \frac{2}{3} \,.\, m \,.\, w \,.\, \pi \,.\, r^2 \cdot \frac{v^2}{4g}$. Weil nun $\pi \,.\, r^2$ die Fläche des grössten Kreises oder die Fläche der Projekzion der halben Kugel ist, so sehen wir, dass der Widerstand der krummen Oberfläche der Halbkugel sich zum Widerstand der Projekzionsfläche wie $\frac{2}{3} : 1$ verhält.

*) Setzen wir $AM =$ dem Differenzial des Bogens $HA = ds$, die Ordinate des Kreises $AO = y$, die Abscisse $HO = x$ und den Halbmesser der Kugel $HC = AC = r$, so ist der Widerstand der

Fig. 24. Zone $= m \cdot w \cdot 2\pi \cdot y \cdot ds \left(\frac{r-x}{r}\right)^2 \cdot \frac{v^2}{4g}$. Nun gibt uns aber die Aehnlichkeit der Dreiecke A M N und A C O die Grösse $AM = \frac{AN \,.\, r}{y}$, oder $ds = \frac{dx \,.\, r}{y}$. Wird dieser Werth für d s gesetzt, so ist der Widerstand der Zone $AMma = m \,.\, w \,.\, 2\pi \,.\, r \,.\, dx\left(\frac{r-x}{r}\right)^2 \cdot \frac{v^2}{4g}$. Das Integral dieser Gleichung gibt den Widerstand der Oberfläche $aHA = m \,.\, w \,.\, 2\pi \,.\, r\left(x - \frac{x^2}{r} + \frac{x^3}{3r^2}\right)\frac{v^2}{4g}$. Setzen wir nun $HO = HC$ oder $x = r$, so ist der Widerstand der vordern halben Kugeloberfläche $= \frac{2}{3} m \,.\, w \,.\, \pi \,.\, r^2 \cdot \frac{v^2}{4g}$.

Die Versuche, welche Herr *Eytelwein* hierüber zum Behufe seines Stromquadranten in dem *Bromberger* Kanal angestellt, und in der Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten, die Baukunst betreffend, Jahrgang 1799 im I. Bande, Seite 53 bekannt gemacht hat, geben die Verhältnisszahl $0{,}7886$, welche von unserm $^2/_3 = 0{,}6667$ nur um $0{,}1219$ abweicht. Die Ursache hiervon dürfte in dem Umstande liegen, dass wir in unserer Rechnung nur den Widerstand der Vorderfläche betrachtet und auf den sogenannten verneinten Widerstand des hintern Theiles, so wie auch auf die Reibung des festen Körpers mit dem flüssigen keine Rücksicht genommen haben. Weil aber dieser Umstand nur auf die absolute Grösse dieses Widerstandes einen Einfluss hat und die Grössen w und $\frac{v^2}{4g}$ dadurch nicht geändert werden, so wird uns diess nicht hindern, die Gesetze des freien Falles und die Bahn geworfener Körper in widerstehenden Mitteln nach den Grundsätzen der Analysis vollkommen richtig darzustellen.

§. 347.

Der freie Fall einer Kugel im widerstehenden Mittel wird durch folgende Gleichungen bestimmt. Bezeichnet r den Halbmesser der Kugel, so ist $^4/_3\,\pi \cdot r^3$ der kubische Inhalt derselben, und setzen wir das Gewicht eines Kubikfusses der Materie der Kugel $=$ p und das Gewicht eines Kubikfusses der Flüssigkeit, in welcher sich die Kugel bewegt $=$ w, so ist das Gewicht der Kugel in demselben Mittel $= (p - w)\,^4/_3\,\pi \cdot r^3$ und der Widerstand dieser Kugel in der Flüssigkeit $= \mu \cdot w \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{v^2}{4g}$, wo nämlich unter μ der Koeffizient für die Kugeloberfläche verstanden wird. Fällt daher eine Kugel durch ihr eigenes Gewicht im widerstehenden Mittel herab, so ist ihre beschleunigende Kraft in jedem Punkte $= (p - w)\,^4/_3\,\pi \cdot r^3 - \mu \cdot w \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{v^2}{4g}$. Nach der unten beigefügten höhern Rechnung *)

*) Der allgemeine Satz, dass die Kräfte ihren Wirkungen proporzional sind, gibt uns die Proporzion $p \cdot {}^4/_3 \cdot \pi \cdot r^3 : 2g \cdot dt = (p-w)\,^4/_3\,\pi \cdot r^3 - \mu \cdot w \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{v^2}{4g} : dv$, woraus $dv = 2g \cdot dt \left\{\left(\frac{p-w}{p}\right) - \frac{3\mu \cdot w}{4p} \cdot \frac{v^2}{4g \cdot r}\right\}$ folgt. Diese Gleichung zeigt uns, dass die Geschwindigkeit des Körpers nicht so, wie bei dem freien Falle ohne Rücksicht auf das widerstehende Mittel im I. Bande gelehrt wurde, fortwährend zunehme, sondern dass die Beschleunigung mit der Zunahme der Geschwindigkeit abnimmt, so zwar, dass keine Beschleunigung mehr Statt findet, oder dass die Geschwindigkeit ihr Maximum erreicht, wenn $\frac{p-w}{p} = \frac{3\mu \cdot w}{4p} \cdot \frac{v^2}{4g \cdot r}$ wird. Nennen wir also die grösste Geschwindigkeit, welche der Körper durch den Fall im widerstehenden Mittel erlangen kann $=$ V, so ist $V^2 = \frac{4}{3\mu}\left(\frac{p-w}{w}\right) 4g \cdot r$. Durch Substituzion dieses Werthes erhalten wir $dv = 2g \cdot dt \left(1 - \frac{v^2}{V^2}\right)\left(\frac{p-w}{p}\right)$. Aus dieser Gleichung folgt $2g \cdot dt = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2 \cdot dv}{V^2 - v^2}$. Das Integral dieser Gleichung ist $t = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V}{4g} \cdot \text{nat}\cdot\log\left(\frac{V+v}{V-v}\right)$. Setzen wir statt dt den gleichen Werth $\frac{ds}{v}$, so erhalten wir $2g \cdot ds = \left(\frac{p}{p-w}\right) \cdot \frac{V^2 \cdot v \cdot dv}{V^2 - v^2}$ und das Integral dieser Gleichung $s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g} \cdot \text{nat. log}\left(\frac{V^2}{V^2 - v^2}\right)$.

ist die Zeit, in welcher die Kugel ihre grösste Geschwindigkeit V während dem freien Falle im widerstehenden Mittel erlangt, $t = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V}{4g}\cdot \text{nat. log}\left(\frac{V+v}{V-v}\right)$ und der bis zum Eintritte dieser grössten Geschwindigkeit beschriebene Raum

$$s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g}\cdot \text{nat. log}\left(\frac{V^2}{V^2-v^2}\right).$$

1tes Beispiel. Ein Regentropfen habe den Durchmesser $2r = 1$ Linie $= \frac{1}{144}$ Fuss; man soll die grösste Geschwindigkeit, welche derselbe bei dem freien Falle in der Luft erlangen kann, bestimmen. Das Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber ist nach §. 82, Seite 112 für 28 Zoll Barometerhöhe und 0 Grad Wärme $= \frac{0{,}983}{10000 + \frac{1}{2}x}$, wo x die Höhe des Ortes über die Meeresfläche in pariser *Toisen* andeutet. Setzen wir für Prag $x = 100$ *Toisen* und die spezifische Schwere des Quecksilbers $= 13{,}598$, so ist $\frac{w}{p} = \frac{0{,}983 \,.\, 13{,}598}{10050} = \frac{1}{752}$, folglich $\frac{p}{w} - 1 = 751$. Setzen wir ferner nach *Eytelwein* $\mu = 0{,}7886$, so ist die grösste Geschwindigkeit, welche der herabfallende Regentropfen erhalten kann, $V = \sqrt{\frac{4}{3\,.\,0{,}7886}\cdot 751 \cdot 62 \cdot \frac{1}{2\,.\,144}} = 16{,}54$ Fuss.

2tes Beispiel. Eine eiserne Kugel von 6 N. Oe. Pfund Gewicht hat, wenn man die spezifische Schwere des Gusseisens $= 7{,}2$ setzt, einen Durchmesser $2r = 3{,}7$ Zoll. Sinkt diese Kugel durch ihr eigenes Gewicht im Wasser herab, so beträgt die grösste Geschwindigkeit, welche sie durch ihren Fall erlangen kann

$V = \sqrt{\frac{4}{3\,.\,0{,}7886}\cdot 6{,}2 \cdot 62 \cdot \frac{1{,}85}{12}} = 10{,}01$ Fuss. Wenn aber dieselbe eiserne Kugel durch ihre eigene Schwere in der Luft herabfällt, so ist $\frac{p}{w} = 752\,.\,7{,}2 = 5414$, folglich $\frac{p}{w} - 1 = 5413$ und die grösste Geschwindigkeit, welche die Kugel durch ihren Fall in der Luft annehmen kann, ist $V = \sqrt{\frac{4}{3\,.\,0{,}7886}\cdot 5413 \cdot 62 \cdot \frac{1{,}85}{12}} = 295{,}77$ Fuss.

3tes Beispiel. Auf gleiche Art findet man für eine 12pfündige Kugel den Halbmesser $r = 2{,}30$ Zoll und $V = 330$ Fuss. Für eine 24pfündige Kugel ist $r = 2{,}90$ Zoll und $V = 370$ Fuss.

Diese Bestimmungen für V gelten aber nur für den Fall, wenn in der allgemeinen Gleichung für das Verhältniss der spezifischen Schwere der Luft zum Quecksilber $\frac{1}{q} = \frac{h\,.\,0{,}983}{28\left(1+\frac{3t}{640}\right)\left(10000+\frac{1}{2}x\right)}$ für $h = 28$ pariser Zolle, $t = 0°$ *Reaum.* und $x = 100$ *Toisen* angenommen wird; wenn aber diese Grössen andere Werthe haben, so wird auch durch ihre Substituzion der Werth von V anders ausfallen. Da man es nicht darauf ankommen lassen kann, für jeden besondern Fall das V den bestehenden Verhältnissen der Atmosphäre gemäss erst vorläufig auszumitteln, so hat man es bei dem §. 350 abgehandelten schiefen Wurfe der Körper für zweckmässiger gehalten, die Grösse V unbestimmt zu lassen und dann zu einem Beispiele die gegebene Geschwindigkeit c, womit der Körper geworfen wird, in einem bestimmten Verhältnisse zu V (wie $c = 2V, \ldots$) anzunehmen und hiernach die Bahn zu berechnen.

Setzen wir in die Gleichungen zwischen t und v für v die grösste Geschwindigkeit V, so wird die Zeit t unendlich gross, und eben so, wenn wir in die Gleichung zwischen v und s für v die grösste Geschwindigkeit V setzen, so wird auch der Raum, durch welchen der Körper fallen muss, bis er die Geschwindigkeit V erlangen kann, unendlich gross. Hieraus sehen wir, dass die frei fallenden Körper sich der berechneten grössten Geschwindigkeit nur nähern, aber dieselbe nie erreichen können.

§. 348.

Wir wollen nun den 2ten Fall untersuchen, **wenn ein Körper mit einer gegebenen Geschwindigkeit c lothrecht in die Höhe geworfen** z. B. eine Kanonenkugel lothrecht in die Höhe geschossen wird.

In diesem Falle wirkt sowohl das Gewicht des Körpers $(p - w)\, \frac{4}{3}\pi . r^3$, als auch der Widerstand der Luft $\mu . w . \pi . r^2 . \frac{v^2}{4g}$ seiner Bewegung entgegen. Nach der unten beigefügten höhern Rechnung *) erhalten wir die Zeit, in welcher ein Körper, der mit der Geschwindigkeit c senkrecht in die Höhe geworfen wird, in seiner Bahn die Geschwindigkeit v erreicht $t = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V}{2g}\left(\text{Arc. tang}\,\frac{c}{V} - \text{Arc. tang}\,\frac{v}{V}\right)$, und den bis dahin beschriebenen Raum $s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g} . \text{nat. log}\left(\frac{V^2 + c^2}{V^2 + v^2}\right)$. Setzen wir in der zweiten Gleichung die Geschwindigkeit $v = 0$, so erhalten wir die **grösste Höhe, auf welche der Körper steigen kann** $S = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g} . \text{nat. log}\left(\frac{V^2 + c^2}{V^2}\right)$, und die

*) Für diesen Fall haben wir $-dv = 2g \cdot dt\left(\frac{p-w}{p} + \frac{3\mu \cdot w}{4p} \cdot \frac{v^2}{4g \cdot r}\right)$ oder wenn wir V^2 statt der Grösse $\frac{4}{3\mu}\left(\frac{p-w}{w}\right) 4g \cdot r$ schreiben, so erhalten wir

$-dv = 2g . dt\left(\frac{p-w}{p}\right)\left(1 + \frac{v^2}{V^2}\right)$; daraus folgt $2g . dt\left(\frac{p-w}{p}\right) = -\frac{V^2 . dv}{V^2 + v^2}$. Wenn wir zur leichtern Integrazion die Grösse $\frac{v}{V} = \text{tang}\,\varphi$ setzen, so ist $\frac{dv}{V} = \frac{d\varphi}{\text{Cos}^2\varphi}$ und

$V^2 + v^2 = V^2(1 + \text{tang}^2\varphi) = \frac{V^2}{\text{Cos}^2\varphi}$. Werden diese Werthe in die obige Gleichung substituirt, so ist $2g . dt\left(\frac{p-w}{p}\right) = -V . d\varphi$. Das Integral dieser Gleichung ist offenbar

$2g . t\left(\frac{p-w}{p}\right) = \text{Konst.} - V . \varphi$. Zur Bestimmung der Konst. wollen wir annehmen, dass der Körper mit der Geschwindigkeit c in die Höhe geworfen werde, demnach $\frac{c}{V} = \text{tang}\,\alpha$ setzen, so ist $2g . t\left(\frac{p-w}{p}\right) = V(\alpha - \varphi)$ oder nach der gewöhnlichen Bezeichnungsart

$t = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V}{2g}\left(\text{Arc. tang}\,\frac{c}{V} - \text{Arc. tang}\,\frac{v}{V}\right)$.

Multipliziren wir die Gleichung $2g . dt\left(\frac{p-w}{p}\right) = -\frac{V^2 . dv}{V^2 + v^2}$ beiderseits mit v und setzen ds statt v . dt, so erhalten wir $2g . ds\left(\frac{p-w}{p}\right) = -V^2 . \frac{v . dv}{V^2 + v^2}$. Das Integral dieser Gleichung gibt $s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g} . \text{nat. log}\left(\frac{V^2 + c^2}{V^2 + v^2}\right)$.

Zeit, in welcher der Körper diese Höhe erreicht,

$$T = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V}{2g} \cdot \text{Arc.tang}\frac{c}{V}.$$

Beispiel. Wird die 6pfündige Kanonenkugel des vorigen Beispieles mit der Geschwindigkeit $c = 600$ Fuss in die Höhe geworfen, so lässt sich die grösste Höhe und die Zeit, in welcher sie diese erreicht, nach den vorstehenden Gleichungen berechnen, wenn für V die im obigen Beispiele berechnete grösste Geschwindigkeit = 296 Fuss und $\frac{p}{p-w} = \frac{5414}{5413}$ gesetzt wird. Wir erhalten nämlich die Zeit des Aufsteigens

$$T = \frac{5414}{5413} \cdot \frac{296}{31} \cdot \text{Arc.tang}\frac{600}{296} = \frac{5414}{5413} \cdot \frac{296}{31} \cdot 1{,}1010 = 10{,}5$$ Sekunden und die grösste Höhe, welche die Kugel in dieser Zeit erreicht

$$S = \frac{5414}{5413} \cdot \frac{(296)^2}{62} \cdot \text{nat.log}\left\{1 + \left(\frac{600}{296}\right)^2\right\} = \frac{5414}{5413} \cdot \frac{(296)^2}{62} \cdot 1{,}6309 = 2305{,}2 \text{ Fuss.}$$

Die Zeit, in welcher die Kugel von dieser Höhe 2305,2 Fuss wieder herabfällt, ergibt sich aus den im vorigen §. hierfür aufgestellten Gleichungen $t = \frac{p}{p-w} \cdot \frac{V}{4g} \cdot \text{nat.log}\left(\frac{V+v}{V-v}\right)$ und $s = \frac{p}{p-w} \cdot \frac{V^2}{4g} \cdot \text{nat.log}\left(\frac{V^2}{V^2-v^2}\right)$. Da die Höhe, von welcher der Körper herabfällt, dieselbe seyn muss, auf welche er aufgestiegen ist, so erhalten wir $\frac{p}{p-w} \cdot \frac{V^2}{4g} \cdot \text{nat.log}\left(\frac{V^2+c^2}{V^2}\right) = \frac{p}{p-w} \cdot \frac{V^2}{4g} \cdot \text{nat.log}\left(\frac{V^2}{V^2-v^2}\right)$. Aus dieser Gleichung folgt $\frac{V^2+c^2}{V^2} = \frac{V^2}{V^2-v^2}$ und hieraus endlich $v = \frac{V.c}{\sqrt{V^2+c^2}}$. Diese Gleichung gibt uns die Proporzion $v : c = V : \sqrt{V^2+c^2} = 1 : \sqrt{1+\frac{c^2}{V^2}}$ und wir sehen hieraus, dass der Körper in jedem Falle mit einer kleinern Geschwindigkeit auffällt, als diejenige war, mit der er in die Höhe geworfen wurde. Weil aber $\frac{V+v}{V-v}$ auch $= \frac{(V+v)^2}{V^2-v^2}$, und wenn man hierin statt v den eben gefundenen Werth substituirt $= \left(\sqrt{1+\frac{c^2}{V^2}} + \frac{c}{V}\right)^2$ ist, so erhalten wir mit diesem Werthe die Zeit, in welcher der Körper von seiner grössten Höhe wieder herabfällt

$$t = \frac{p}{p-w} \cdot \frac{V}{2g} \cdot \text{nat. log}\left(\frac{c}{V} + \sqrt{1+\frac{c^2}{V^2}}\right).$$ Setzen wir abermals $\frac{p}{p-w} = \frac{5414}{5413}$, $V = 296$ Fuss und $c = 600$ Fuss, so ist die Zeit

$$t = \frac{5414}{5413} \cdot \frac{296}{31} \cdot \text{nat.log}\left\{\frac{600}{296} + \sqrt{1+\left(\frac{600}{296}\right)^2}\right\} = \frac{5414}{5413} \cdot \frac{296}{31} \cdot 1{,}4557 = 13{,}0 \text{ Sekunden,}$$

und die Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel unten ankommt, ist

$$v = \frac{296 \cdot 600}{\sqrt{(296)^2 + (600)^2}} = 265{,}46 \text{ Fuss.}$$

§. 349.

Wenn der Körper mit einer kleinern Geschwindigkeit c, als mit derjenigen V, die er bei dem Herabfallen im widerstehenden Mittel höchstens erlangen kann, in die Höhe geworfen wird, sonach $\frac{c}{V}$ ein Bruch ist, dessen höhere Potenzen schnell abnehmen, so ist nat. $\log\left(\frac{V^2+c^2}{V^2}\right) = \text{nat.} \log\left(1+\frac{c^2}{V^2}\right) = \frac{c^2}{V^2} - \frac{c^4}{2V^4} + \frac{c^6}{3V^6} \cdots\cdots$, folglich ist die Höhe, auf welche der Körper steigen kann $S = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c^2}{4g}\left(1 - \frac{c^2}{2V^2} + \frac{c^4}{3V^4} - \cdots\cdots\right)$.
Auf gleiche Art ist Arc. tang $\frac{c}{V} = \alpha = \frac{c}{V} - \frac{c^3}{3V^3} + \frac{c^5}{5V^5} \cdots\cdots$, folglich die Zeit, in welcher er die grösste Höhe erreicht $T = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c}{2g}\left(1 - \frac{c^2}{3V^2} + \frac{c^4}{5V^4} - \cdots\cdots\right)$.

Diese beiden Gleichungen stimmen mit jenen überein, die wir für den freien Fall im leeren Raume gefunden haben. Im leeren Raume ist nämlich $w = 0$ und die grösste Geschwindigkeit, die der Körper durch seine fortwährende Beschleunigung erlangen kann, unendlich gross; demnach verschwinden die erste und alle höhern Potenzen von $\frac{c}{V}$ und wir erhalten den Raum, auf welchen der Körper steigen kann, $S = \frac{c^2}{4g}$ und die hierzu nöthige Zeit $T = \frac{c}{2g}$, welches genau dieselben Formeln sind, welche im I. Bande dieses Werkes §. 492 aufgestellt wurden.

Auf gleiche Art erhalten wir die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper wieder unten auffällt $v = \frac{V \cdot c}{\sqrt{V^2+c^2}} = c$ und die Zeit, in welcher er von der grössten Höhe herabfällt $t = \frac{p}{p-w} \cdot \frac{V}{2g} \cdot \text{nat.} \log\left(\frac{c}{V} + \sqrt{1+\frac{c^2}{V^2}}\right) =$

$= \frac{V}{2g} \cdot \text{nat.} \log\left(1+\frac{c}{V}\right) = \frac{V}{2g}\left(\frac{c}{V}\right) = \frac{c}{2g}$, welches mit den Formeln im I. Bande ebenfalls übereinstimmt.

§. 350.

Mit Hilfe der vorgetragenen Grundsätze lässt sich auch die **Bahn schiefgeworfener Körper mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft** berechnen. Die Wichtigkeit dieser Aufgabe, vorzüglich für die Artillerie leuchtet von selbst ein, inzwischen hat man bisher eine genaue Auflösung derselben noch nicht erhalten, und in dieser Hinsicht nur Annäherungen versucht, die aber weder allgemein giltig und selbst für die angenommenen Fälle nicht ganz entsprechend befunden worden sind. Man hofft daher, dass die nachstehende allgemeine Auflösung dieses schwierigen Gegenstandes dem wissenschaftlichen Publikum nicht unwillkommen seyn werde.

Wird eine Kugel nach der Richtung A U mit der Geschwindigkeit c geworfen und setzt man den Winkel, welchen A U mit der Horizontalen A H bildet $= \alpha$, so ist im Punkte A die horizontale Geschwindigkeit $= c \cdot \text{Cos}\,\alpha$ und die vertikale $= c \cdot \text{Sin}\,\alpha$. Es sey der Körper nach der Zeit t im Punkte M, und seine Geschwindigkeit nach der

Fig. 25. Tab. 65.

Fig. 25. Tab. 65. Richtung der Bahn sey $= v$, der Winkel N M O den die Bahn an demselben Orte mit der Horizontallinie macht $= \lambda$, die Abscisse A L $= x$ und die Ordinate L M $= y$. Nach der unten beigefügten Rechnung der höhern Analysis *) ergeben sich Gleichungen

*) Wir haben M O $= d\,x$ und N O $= d\,y$, und wenn die Länge des Bogens A M $= s$ gesetzt wird, M N $= d\,s$. Demnach ist im Punkte M die Geschwindigkeit nach der Richtung der Bahn $\frac{d\,s}{d\,t} = v$, die horizontale Geschwindigkeit $\frac{d\,x}{d\,t} = v \,.\, \text{Cos}\,\lambda$ und die vertikale $\frac{d\,y}{d\,t} = v \,.\, \text{Sin}\,\lambda$. Das Gewicht der Kugel im leeren Raume sey $= Q$ und im widerstehenden Mittel $= \left(\frac{p - w}{p}\right) Q$. Der Widerstand des Mittels ist nach unserer frühern Bezeichnung $= \mu \,.\, w \,.\, \pi \,.\, r^2 \,.\, \frac{v^2}{4\,g}$.

Wir haben bereits §. 347 gesehen, dass für den Fall, wenn der Körper durch sein Gewicht senkrecht herabfällt, derselbe nur höchstens die Geschwindigkeit V erlangen könne, und dass V durch die Gleichung $\frac{p - w}{p} - \frac{3\,\mu \,.\, w}{4\,p} \cdot \frac{V^2}{4\,g \,.\, r} = 0$ bestimmt werde. Daraus folgt $\mu \,.\, w \,.\, \pi \,.\, r^2 = \frac{4\,(p - w)\,\pi \,.\, r^3 \,.\, 4\,g}{3 \,.\, V^2} = Q\left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{4\,g}{V^2}$. Setzen wir diesen Werth in den Ausdruck für den Widerstand des Mittels, so ist dieser Widerstand nach der Richtung der Bahn $= Q\left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{v^2}{V^2}$.

Wir wollen nun zuerst die Bewegung des Körpers nach der horizontalen Richtung untersuchen. Da die Richtung der Schwere auf die horizontale Bewegung des Körpers senkrecht ist, so haben wir bei der Bewegung im luftleeren Raume (I. Band, VI. Kapitel) geschlossen, dass die Geschwindigkeit des Körpers in horizontaler Richtung in jedem Punkte der Bahn dieselbe bleiben müsse. Bei der Bewegung im widerstehenden Mittel wird aber die horizontale Bewegung von dem Widerstande des Mittels gehindert, da jedoch dieser Widerstand nur nach der Richtung der Bahn entgegen wirkt, so müssen wir denselben noch mit Cos λ multipliziren. Dadurch erhalten wir den Widerstand nach der horizontalen Richtung $= Q\left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{v^2}{V^2} \cdot \text{Cos}\,\lambda$.

Nach dem allgemeinen Gesetze der beschleunigenden Kräfte haben wir $Q : 2\,g \,.\, d\,t = Q\left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{v^2}{V^2} \cdot \text{Cos}\,\lambda : -\,d\,(v \,.\, \text{Cos}\,\lambda)$. Daraus folgt die Gleichung $-\,d\,(v \cdot \text{Cos}\,\lambda) = 2\,g \,.\, d\,t\left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{v^2}{V^2} \cdot \text{Cos}\,\lambda$, weil aber $v \,.\, d\,t = d\,s$, so haben wir $-\,d\,(v \,.\, \text{Cos}\,\lambda) = 2\,g\left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{d\,s \,.\, v \,.\, \text{Cos}\,\lambda}{V^2}$ (I).

Wird zu beiden Seiten mit $v \,.\, \text{Cos}\,\lambda$ dividirt, und die Gleichung integrirt, so ist $\text{nat} \,.\, \log\left(\frac{c \,.\, \text{Cos}\,\alpha}{v \,.\, \text{Cos}\,\lambda}\right) = 2\,g\left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{s}{V^2}$, oder wenn wir zur Abkürzung die Geschwindigkeitshöhe $\frac{V^2}{4\,g} = H$ setzen, so ist $\text{nat} \,.\, \log\left(\frac{c \,.\, \text{Cos}\,\alpha}{v \,.\, \text{Cos}\,\lambda}\right) = \left(\frac{p - w}{p}\right)\frac{s}{2\,H}$.

Der Umstand, dass der Widerstand des Mittels dem Körper nur nach der Richtung seiner Bewegung entgegenwirkt, demnach auf die Richtung desselben in der Bahn keinen Einfluss haben kann, dient uns zur Aufstellung einer zweiten Gleichung, in welcher der Widerstand des Mittels nicht vorkommt. Wir haben bereits an mehreren Stellen dieses Werkes gezeigt, dass zur Bewegung eines Körpers nach einer krummen Linie eine Kraft P erfordert werde, welche auf die Richtung der Bahn winkelrecht wirkt und deren Grösse nach der Gleichung $P = \frac{Q \cdot v^2}{2\,g \cdot R}$ bestimmt wird. In dieser Gleichung ist Q das Gewicht des Körpers, v die Geschwindigkeit und R der Krümmungshalbmesser an jedem Orte der Bahn. In unserm Falle, wo das Gewicht des Körpers im widerstehenden Mittel

für die Coordinaten x und y, welche zeigen, dass die Bahn des geworfenen Körpers andern Gesetzen, und nur dann dem Gesetze einer **Parabel** folgt, wenn man in diesen Formeln annimmt, dass der Körper im leeren Raume herabfällt, wo seine Bewegung

$= Q\left(\frac{p-w}{p}\right)$ ist und senkrecht auf den Horizont wirkt, wird demnach die auf die Bahn winkelrecht wirkende Kraft $P = Q\left(\frac{p-w}{p}\right)\mathrm{Cos}\,\lambda$ seyn, und weil $R = \frac{ds}{-d\lambda}$, so haben wir die Gleichung $Q\left(\frac{p-w}{p}\right)\mathrm{Cos}\,\lambda = -\frac{Q\cdot v^2\cdot d\lambda}{2g\cdot ds}$. Daraus folgt $2g\cdot ds\left(\frac{p-w}{p}\right)\mathrm{Cos}\,\lambda = -v^2\cdot d\lambda$ (II)

Aus der Gleichung (I) folgt $2g\cdot ds\left(\frac{p-w}{p}\right)\mathrm{Cos}\,\lambda = -\frac{V^2}{v}\cdot d\,(v\cdot\mathrm{Cos}\,\lambda)$. Demnach haben wir $-v^2\cdot d\lambda = -\frac{V^2}{v}\cdot d\,(v\cdot\mathrm{Cos}\,\lambda)$. Werden beide Glieder der Gleichung mit $\frac{v^2\cdot\mathrm{Cos}^3\lambda}{2}$ dividirt, so erhalten wir $-\frac{V^2.2\,d\,(v.\mathrm{Cos}\,\lambda)}{v^3.\mathrm{Cos}^3\lambda} = -\frac{2\,d\lambda}{\mathrm{Cos}^3\lambda}$. Das Integral des ersten Theiles dieser Gleichung ist $\frac{V^2}{v^2.\mathrm{Cos}^2\lambda} - \frac{V^2}{c^2.\mathrm{Cos}^2\alpha}$ und das Integral des zweiten Theiles ist $\frac{\mathrm{tang}\,\alpha}{\mathrm{Cos}\,\alpha} - \frac{\mathrm{tang}\,\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda} + \mathrm{nat.log.tang}\,(45 - \tfrac{1}{2}\lambda) - \mathrm{nat.log.tang}\,(45 - \tfrac{1}{2}\alpha)$. Statt dieses letztern vollständigen Integrales wollen wir der Kürze wegen L schreiben, demnach $\frac{V^2}{v^2.\mathrm{Cos}^2\lambda} - \frac{V^2}{c^2.\mathrm{Cos}^2\alpha} = \int\frac{-2\,d\lambda}{\mathrm{Cos}^3\lambda} = L$ setzen. Daraus folgt

$$v^2.\mathrm{Cos}^2\lambda = \frac{c^2.\mathrm{Cos}^2\alpha}{1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha.L} \quad \text{(III)}.$$

Wird die Gleichung III mit II verbunden, so erhalten wir für den Bogen s die Differenzialgleichung

$$ds = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g}\cdot\frac{\frac{c^2.\mathrm{Cos}^2\alpha}{V^2}\left(\frac{-2\,d\lambda}{\mathrm{Cos}^3\lambda}\right)}{1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha\int\frac{-2\,d\lambda}{\mathrm{Cos}^3\lambda}} = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g}\cdot\frac{c^2.\mathrm{Cos}^2\alpha.dL}{V^2 + c^2.\mathrm{Cos}^2\alpha.L}.$$ Daraus folgt

$s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g}\cdot\mathrm{nat}\cdot\log\left(1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha\cdot L\right)$ (IV), wo keine beständige Grösse beizusetzen kommt, weil das Integral schon so bestimmt worden ist, dass für $\lambda = \alpha$ der Bogen s verschwindet.

Wenn in der aus I abgeleiteten Integralgleichung $\mathrm{nat.log}\left(\frac{c\cdot\mathrm{Cos}\,\alpha}{v\cdot\mathrm{Cos}\,\lambda}\right) = \left(\frac{p-w}{p}\right)\frac{s}{2H}$ für s der zuletzt gefundene Werth gesetzt wird, so erhalten wir

$\mathrm{nat.log}\left(\frac{c\cdot\mathrm{Cos}\,\alpha}{v\cdot\mathrm{Cos}\,\lambda}\right) = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{nat.log}\left(1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha\cdot L\right)$. Daraus folgt

$\frac{c.\mathrm{Cos}\,\alpha}{v.\mathrm{Cos}\,\lambda} = \sqrt{1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha.L}$, und die **horizontale Geschwindigkeit in jedem Punkte der Bahn** $v.\mathrm{Cos}\,\lambda = \frac{c.\mathrm{Cos}\,\alpha}{\sqrt{1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha.L}}$, daher die **Geschwindigkeit in der Bahn**

$v = \frac{c.\mathrm{Cos}\,\alpha}{\mathrm{Cos}\,\lambda\sqrt{1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha.L}}$ und die **senkrechte Geschwindigkeit**

$$v.\mathrm{Sin}\,\lambda = \frac{c.\mathrm{Cos}\,\alpha.\mathrm{tang}\,\lambda}{\sqrt{1 + \frac{c^2}{V^2}\cdot\mathrm{Cos}^2\alpha.L}}.$$

fortwährend beschleunigt und die Geschwindigkeit V, welche er erreichen kann, unendlich gross, oder $\frac{c}{V} = 0$ wird.

§. 351.

Aus den im vorigen Paragraphe für die Berechnung der Coordinaten angegebenen Differenzial-Gleichungen würden sich auch die Coordinaten für jeden Punkt der krummen Linie bestimmen lassen, wenn jene Differenzial-Gleichungen in ihrer allgemeinen Form integrirt werden könnten. Da aber hierzu noch keine Methode bekannt ist, so hat man bisher verschiedene Annäherungen versucht und zur Erhaltung konvergirender Reihen angenommen, dass die Grösse $\frac{c}{V}$ und der Winkel λ so klein sind, dass die höheren Potenzen derselben weggelassen werden können. Weil aber im widerstehenden Mittel die Geschwindigkeit V auf die Grösse $\sqrt{\frac{4}{3\mu}\left(\frac{p-w}{p}\right) 4\, g \cdot r}$ beschränkt ist und bei der Luft für eine 6pfündige Kanonenkugel = 296 Fuss gefunden wurde, so müsste man zu einer algebraischen Annäherung den Werth von c viel kleiner als 296 Fuss annehmen. Da jedoch die Kraft des Schiesspulvers so gross ist, dass die aus Kanonen und andern Gewehren abgeschossenen Kugeln mit einer viel grössern Geschwindigkeit fortgetrieben werden, so wollen wir eine eigene Methode zur Berechnung der Bahn unserer Kugeln angeben, welche weder von der Grösse der Geschwindigkeit c, noch von der Kleinheit der Winkel α und λ, welche die Rich-

Aus diesen drei Gleichungen lässt sich sowohl die Geschwindigkeit in der Richtung der Bahn, als auch die horizontale und vertikale Geschwindigkeit für jeden gegebenen Winkel λ finden.

Wir können nun auch die Coordinaten x und y der krummen Linie mittelst der Gleichung IV berechnen; wir haben nämlich $d\,x = d\,s \cdot \text{Cos}\,\lambda = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4\,g} \cdot \frac{\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{V^2}\left(\frac{-2\,d\,\lambda}{\text{Cos}^2\,\lambda}\right)}{1 + \frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{V^2}\int\frac{-2\,d\,\lambda}{\text{Cos}^3\,\lambda}}$.

Auf gleiche Art ist $d\,y = d\,s \cdot \text{Sin}\,\lambda = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4\,g} \cdot \frac{\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{V^2}\left(\frac{-2\,d\,\lambda \cdot \text{Sin}\,\lambda}{\text{Cos}^3\,\lambda}\right)}{1 + \frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{V^2}\int\frac{-2\,d\,\lambda}{\text{Cos}^3\,\lambda}}$.

Aus den Integralien dieser Gleichungen findet man die Coordinaten x und y für jeden Stellungswinkel λ; bevor wir aber zur Bestimmung dieser Integralien schreiten, wollen wir erst den Fall untersuchen, wenn die Geschwindigkeit V so gross ist, dass die Grösse $\frac{c^2}{V^2}$ gegen 1 vernachlässigt werden kann. In diesem Falle haben wir die horizontale Geschwindigkeit $v \cdot \text{Cos}\,\lambda = c \cdot \text{Cos}\,\alpha$, die Geschwindigkeit nach der Richtung der Bahn $v = c \cdot \frac{\text{Cos}\,\alpha}{\text{Cos}\,\lambda}$ und die senkrechte Geschwindigkeit $v \cdot \text{Sin}\,\lambda = c \cdot \text{Cos}\,\alpha \cdot \text{tang}\,\lambda$. Ferner ist $d\,s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{4\,g}\left(\frac{-2\,d\,\lambda}{\text{Cos}^3\,\lambda}\right)$, folglich der Bogen $s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{4\,g} \cdot L$ und $d\,x = d\,s \cdot \text{Cos}\,\lambda = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{4\,g}\left(\frac{-2\,d\,\lambda}{\text{Cos}^2\,\lambda}\right)$ und die Abscisse $x = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{2\,g}(\text{tang}\,\alpha - \text{tang}\,\lambda)$. Eben so ist

$d\,y = d\,s \cdot \text{Sin}\,\lambda = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{4\,g}\left(\frac{-2\,d\,\lambda}{\text{Cos}^2\,\lambda} \cdot \text{tang}\,\lambda\right)$, folglich die zu dem Winkel λ gehörige Ordinate $y = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{c^2 \cdot \text{Cos}^2\,\alpha}{4\,g}(\text{tang}^2\,\alpha - \text{tang}^2\,\lambda)$.

tung der Kugel zu Anfang und in jedem Punkte ihrer Bewegung mit dem Horizonte macht, **abhängig ist.**

Diese Methode beruht erstens auf dem vollständigen Integral $L = \int - \frac{2\,d\,\lambda}{\mathrm{Cos}^3\,\lambda}$ und zweitens auf der genauen Berechnung der Länge des Bogens $s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4\,g} \cdot \mathrm{nat} \cdot \log\left(1 + \frac{c^2 \cdot \mathrm{Cos}^2\,\alpha}{V^2} \cdot L\right)$. Wenn nun nach der letzten Gleichung die Länge der Bögen s für alle Winkel, welche die Richtung der Bahn erhalten kann, entweder von 5 zu 5 Grad oder zur Erzielung einer noch grössern Genauigkeit von Grad zu Grad berechnet wird, so kann man diese Bögen von einander abziehen und die Unterschiede so kleiner Bogenlängen als gerade Linien betrachten. Dadurch erhalten wir in jedem Dreiecke M N O die Länge des Bogens M N = der endlichen Differenz von $s = \triangle\,s$ und da der Winkel N M O $= \lambda$ ist, so folgt M O $= \triangle\,s \cdot \mathrm{Cos}\,\lambda = \triangle\,x$ und N O $= \triangle\,s \cdot \mathrm{Sin}\,\lambda = \triangle\,y$. Die Summe aller $\triangle\,x$ Fig. 25.
vom Anfangspunkte A bis zu dem Punkte L gibt die Abscisse für den Punkt L, nämlich A L $= x$ und die Summe aller $\triangle\,y$ die Ordinate L M $= y$. Um diese Rechnung Tab. 65.
noch genauer zu führen, müssen wir bemerken, dass der Bogen A M im Punkte M mit der Abscissenlinie den Winkel N M O $= \lambda$, in dem folgenden Punkte N aber nach unserer Rechnung einen um 5 Grad kleinern Winkel λ' macht; weil nun die Gleichung $\triangle\,y = \triangle\,s \cdot \mathrm{Sin}\,\lambda$ die Linie N O zu gross, und die Gleichung $\triangle\,y = \triangle\,s \cdot \mathrm{Sin}\,\lambda'$ den Werth für N O zu klein geben würde, so haben wir zur genauern Bestimmung der Grössen N O und M O statt des Winkels λ den Winkel $\frac{\lambda + \lambda'}{2}$ angenommen, sonach $\triangle\,x = \triangle\,s \cdot \mathrm{Cos}\left(\frac{\lambda + \lambda'}{2}\right)$ und $\triangle\,y = \triangle\,s \cdot \mathrm{Sin}\left(\frac{\lambda + \lambda'}{2}\right)$ gesetzt.

Zur leichtern Ausführung solcher Rechnungen dient die nachfolgende Tabelle. In der ersten Kolumne dieser Tabelle befinden sich die Winkel λ, bis zu welchen die Länge des Bogens berechnet werden soll und in der zweiten Kolumne ist die Grösse $\frac{\mathrm{tang}\,\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda}$ angegeben. Die dritte Kolumne enthält den Werth für nat · log · tang $(45 - \frac{1}{2}\,\lambda)$. Für diejenigen, welche nicht im Besitze der Tafeln natürlicher Logarithmen sind, wird hier bemerkt, dass die natürlichen Logarithmen mit Hilfe der Briggischen berechnet werden, wenn der jedesmalige Briggische Logarithmus mit der Zahl 2,302585 multiplizirt wird. Die vierte Kolumne enthält die Grösse $\frac{\mathrm{tang}\,\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda}$ — nat · log · tang $(45 - \frac{1}{2}\,\lambda)$. Weil aber tang $(45 - \frac{1}{2}\,\lambda)$ kleiner als 1, und daher der Logarithmus eine negative Grösse ist, so erhellet, dass durch die Subtrakzion dieser Zahlen von den Zahlen in der zweiten Kolumne eigentlich die Summe von beiden entsteht.

Die auf solche Art berechnete Tabelle ist allgemein und es lassen sich mit ihrer Hilfe alle Bahnen geworfener Körper für jeden Winkel α berechnen. Es leuchtet von selbst ein, dass man bei dieser Rechnung keineswegs, so wie es andere Schriftsteller gethan haben, genöthigt sey, den Winkel α **sehr klein anzunehmen**, da sich nach unserer Theorie die Bahn geworfener Körper im widerstehenden Mittel oder die sogenannte Ballistische Linie mit gleicher Verlässlichkeit **für jeden Werth** von α bestimmen lässt.

Allgemeine Tabelle zur Berechnung der Bogenlänge und der Coordinaten der Ballistischen Linie im widerstehenden Mittel.

Winkel λ in Graden	$\frac{\text{tang}\,\lambda}{\text{Cos}\,\lambda}$	nat.log. tang $(45 - \frac{1}{2}\lambda)$	$\frac{\text{tang}\,\lambda}{\text{Cos}\,\lambda}$ — nat.log. tang $(45 - \frac{1}{2}\lambda)$	Winkel λ in Graden	$\frac{\text{tang}\,\lambda}{\text{Cos}\,\lambda}$	nat.log. tang $(45 - \frac{1}{2}\lambda)$	$\frac{\text{tang}\,\lambda}{\text{Cos}\,\lambda}$ — nat.log. tang $(45 - \frac{1}{2}\lambda)$
85	+ 131,14520	— 3,13131	+ 134,27651	0	0,00000	0,00000	0,00000
80	+ 32,65961	— 2,43625	+ 35,09586	— 5	— 0,08782	+ 0,08738	— 0,17520
75	+ 14,41954	— 2,02759	+ 16,44713	— 10	— 0,17905	+ 0,17543	— 0,35448
70	+ 8,03309	— 1,73541	+ 9,76850	— 15	— 0,27740	+ 0,26484	— 0,54224
65	+ 5,07434	— 1,50644	+ 6,58078	— 20	— 0,38733	+ 0,35637	— 0,74370
60	+ 3,46410	— 1,31696	+ 4,78106	— 25	— 0,51451	+ 0,45087	— 0,96538
55	+ 2,48990	— 1,15424	+ 3,64414	— 30	— 0,66667	+ 0,54930	— 1,21597
50	+ 1,85404	— 1,01067	+ 2,86471	— 35	— 0,85480	+ 0,65283	— 1,50763
45	+ 1,41421	— 0,88133	+ 2,29559	— 40	— 1,09537	+ 0,76292	— 1,85829
40	+ 1,09537	— 0,76292	+ 1,85829	— 45	— 1,41421	+ 0,88133	— 2,29559
35	+ 0,85480	— 0,65283	+ 1,50763	— 50	— 1,85404	+ 1,01067	— 2,86471
30	+ 0,66667	— 0,54930	+ 1,21597	— 55	— 2,48990	+ 1,15424	— 3,64414
25	+ 0,51451	— 0,45087	+ 0,96538	— 60	— 3,46410	+ 1,31696	— 4,78106
20	+ 0,38733	— 0,35637	+ 0,74370	— 65	— 5,07434	+ 1,50644	— 6,58078
15	+ 0,27740	— 0,26484	+ 0,54224	— 70	— 8,03309	+ 1,73541	— 9,76850
10	+ 0,17905	— 0,17543	+ 0,35443	— 75	— 14,41954	+ 2,02759	— 16,44713
5	+ 0,08782	— 0,08738	+ 0,17520	— 80	— 32,65961	+ 2,43625	— 35,09586
0	0,00000	0,00000	0,00000	— 85	— 131,14520	+ 3,13131	— 134,27651

§. 352.

Beispiel. Es sey die Bahn einer Kugel im widerstehenden Mittel für den Fall zu berechnen, wenn selbe unter dem Winkel $\alpha = 45$ Grad abgeschossen wird, und die Wurfsgeschwindigkeit c zweimal so gross als die grösste Geschwindigkeit V ist, welche diese Kugel bei dem freien Falle in der Luft erlangen kann.

Diess kann mit Hilfe der vorstehenden allgemeinen Tabelle ohne Anstand geschehen und es enthält nachstehende Tabelle die Resultate dieser Berechnung. Die erste Kolumne enthält den Winkel λ, bis zu welchem die Länge des Bogens s berechnet werden soll. Die zweite Kolumne enthält die Grösse

$$L = \frac{\text{tang}\,\alpha}{\text{Cos}\,\alpha} - \text{nat}\cdot\text{log}\cdot\text{tang}\,(45 - \tfrac{1}{2}\,\alpha) - \left\{\frac{\text{tang}\,\lambda}{\text{Cos}\,\lambda} - \text{nat}\cdot\text{log}\cdot\text{tang}\,(45 - \tfrac{1}{2}\,\lambda)\right\}.$$

Da in der vierten Kolumne der vorhergehenden Tabelle bereits alle Werthe für $\frac{\text{tang}\,\lambda}{\text{Cos}\,\lambda} - \text{nat}\cdot\text{log}\cdot\text{tang}\,(45 - \frac{1}{2}\,\lambda)$ berechnet sind, so müssen wir, weil $\alpha = 45$ Grad ist, bei 45 Grad in der Tabelle anfangen und von dem dort angeführten Werthe + 2,29559 alle nachfolgenden Werthe für die Winkel 40, 35, 30 Grad abziehen. Wir erhalten auf diese Art für 40 Grad den Werth $L = 2{,}29559 - 1{,}85829 = 0{,}43730$, bei 35 Grad

ist eben so L = 2,29559 — 1,50763 = 0,78796, u. s. w. Die dritte Kolumne enthält die Länge des Bogens $s = \left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g} \cdot \text{nat}\cdot\log\left(1 + \frac{c^2 \cdot \cos^2\alpha}{V^2} \cdot L\right)$, oder wenn wir für unser Beispiel c = 2 V, folglich $\frac{c^2 \cdot \cos^2\alpha}{V^2} = 2$ setzen, und für $\left(\frac{p}{p-w}\right)\frac{V^2}{4g}$ der Kürze wegen K schreiben, so ist $s = K \cdot \text{nat}\cdot\log\,(1 + 2L)$. Diese Werthe befinden sich in der dritten Kolumne.

In der vierten Kolumne befinden sich die Unterschiede $\triangle s$, welche erhalten werden, wenn jede vorhergehende Bogenlänge von der nächstfolgenden abgezogen wird. Die fünfte Kolumne enthält das Produkt $\triangle s \cdot K \cdot \cos\left(\frac{\lambda + \lambda'}{2}\right) = \triangle x$ und die sechste Kolumne das Produkt $\triangle s \cdot K \cdot \sin\left(\frac{\lambda + \lambda'}{2}\right) = \triangle y$. Die siebente Kolumne enthält die Summe aller $\triangle x$ bis zu dem gegebenen Winkel oder die A b s c i s s e x und die achte Kolumne die Summe aller $\triangle y$ bis zu demselben Winkel oder die O r d i n a t e y.

Winkel λ in Graden	L	s = K nat.log(1+2L)	$\triangle s \cdot K$	$\triangle x = \triangle s.K.\cos\left(\frac{\lambda+\lambda'}{2}\right)$	$\triangle y = \triangle s.K.\sin\left(\frac{\lambda+\lambda'}{2}\right)$	Abscisse x	Ordinate y
+ 45	0,00000	0,0000 K	0,0000 K	0,0000 K	0,0000 K	0,000 K	0,000 K
+ 40	0,43730	0,6284 K	0,6284 K	0,4633 K	0,4245 K	0,463 K	0,425 K
+ 35	0,78796	0,9462 K	0,3173 K	0,2521 K	0,1935 K	0,715 K	0,618 K
+ 30	1,07962	1,1503 K	0,2041 K	0,1721 K	0,1097 K	0,888 K	0,728 K
+ 25	1,33021	1,2976 K	0,1473 K	0,1307 K	0,0630 K	1,018 K	0,796 K
+ 20	1,55189	1,4119 K	0,1143 K	0,1056 K	0,0437 K	1,124 K	0,839 K
+ 15	1,75335	1,5056 K	0,0937 K	0,0894 K	0,0282 K	1,213 K	0,868 K
+ 10	1,94111	1,5856 K	0,0800 K	0,0781 K	0,0173 K	1,291 K	0,885 K
+ 5	2,12039	1,6565 K	0,0709 K	0,0703 K	0,0093 K	1,362 K	0,894 K
0	2,29559	1,7212 K	0,0647 K	0,0646 K	0,0028 K	1,426 K	0,897 K
— 5	2,47079	1,7820 K	0,0608 K	0,0607 K	— 0,0027 K	1,487 K	0,894 K
— 10	2,65007	1,8406 K	0,0586 K	0,0581 K	— 0,0076 K	1,545 K	0,887 K
— 15	2,83783	1,8985 K	0,0579 K	0,0565 K	— 0,0125 K	1,602 K	0,874 K
— 20	3,03929	1,9571 K	0,0586 K	0,0559 K	— 0,0176 K	1,657 K	0,857 K
— 25	3,26097	2,0178 K	0,0607 K	0,0561 K	— 0,0232 K	1,714 K	0,833 K
— 30	3,51156	2,0823 K	0,0645 K	0,0572 K	— 0,0298 K	1,771 K	0,804 K
— 35	3,80322	2,1525 K	0,0702 K	0,0592 K	— 0,0377 K	1,830 K	0,766 K
— 40	4,15388	2,2309 K	0,0784 K	0,0622 K	— 0,0477 K	1,892 K	0,718 K
— 45	4,59118	2,3207 K	0,0898 K	0,0662 K	— 0,0607 K	1,958 K	0,658 K
— 50	5,16030	2,4266 K	0,1059 K	0,0715 K	— 0,0781 K	2,030 K	0,579 K
— 55	5,93973	2,5556 K	0,1290 K	0,0785 K	— 0,1023 K	2,108 K	0,477 K
— 60	7,07665	2,7182 K	0,1626 K	0,0874 K	— 0,1371 K	2,196 K	0,340 K
— 65	8,87637	2,9314 K	0,2132 K	0,0984 K	— 0,1891 K	2,294 K	0,151 K
— 70	12,06409	3,2240 K	0,2926 K	0,1120 K	— 0,2703 K	2,406 K	—0,119 K
— 75	18,74272	3,6503 K	0,4263 K	0,1282 K	— 0,4066 K	2,534 K	—0,526 K
— 80	37,39145	4,3279 K	0,6776 K	0,1467 K	— 0,6615 K	2,681 K	—1,188 K

Fig. 26. Tab. 65. Um die Resultate dieser Tabelle bildlich darzustellen, sind die Coordinaten x und y in Fig. 26 genau aufgetragen und hierbei zum Maasstabe K = 1½ Zoll angenommen worden. In derselben Figur erscheint zugleich nach demselben Maasstabe die parabolische Linie aufgetragen, welche derselbe Körper mit einer gleichen anfänglichen Geschwindigkeit $c = 2\,V$ bei dem Wurfswinkel $\alpha = 45$ Grad im luftleeren Raume beschreiben würde. Man sieht aus der vorhergehenden Tabelle und der aufgetragenen Zeichnung, dass die grösste Höhe, welche der Körper erreicht, nämlich 0,507 K dort Statt findet, wo das Steigen aufhört oder wo $\lambda = 0$ ist. Der Ort, wo der Körper wieder in dieselbe horizontale Linie einfällt, ist dort, wo die Höhe y über dem Horizont = 0 wird, also in unserm Falle zwischen $\lambda = -65$ und $\lambda = -70$ Grad. Die genaue Bestimmung dieses Werthes ergibt sich aus der Proporzion $0{,}151 + 0{,}119 : 5^\circ = 0{,}151 : 2{,}8^\circ$. Demnach ist $\lambda = -67{,}8^\circ$. Für die Bestimmung der grössten Wurfsweite haben wir: $0{,}151 + 0{,}119 : 2{,}406\,K - 2{,}294\,K = 0{,}151 : z$ und die grösste Wurfsweite $= 2{,}294\,K + z = 2{,}357\,K = 2{,}357 \cdot \frac{V^2}{4\,g}\left(\frac{p}{p-w}\right) = 2{,}357 \cdot \frac{296^2}{62} \cdot \frac{5414}{5413} = 3331$ Fuss. Auf dieser Weite wird eine mit $2 \cdot 296 = 592$ Fuss unter dem Winkel von 45° abgeschossene Kugel in den Horizont wieder auffallen, wenn die Barometerhöhe 28 par. Zoll, die Temperatur 0° R., endlich die Höhe des Ortes über dem Meere 100 Toisen beträgt.

Zur deutlichern Beurtheilung, welchen Einfluss die Bewegung im widerstehenden Mittel auf die Bahn des geworfenen Körpers macht, haben wir noch nachstehende zwei Tabellen für die Wurfswinkel $\alpha = 30$ und $\alpha = 15$ Grad berechnet.

Winkel λ in Graden.	L.	$s =$ K.nat.log(1 + 3L)	Δ s.K.	$\Delta x = \Delta s.K.\mathrm{Cos}\left(\frac{\lambda+\lambda'}{2}\right)$	$\Delta y = \Delta s.K.\mathrm{Sin}\left(\frac{\lambda+\lambda'}{2}\right)$	Abscisse x.	Ordinate y.
+30	0,00000	0,0000 K	0,0000 K	0,0000 K	0,0000 K	0,000 K	0,000 K
+25	0,25059	0,5606 K	0,5606 K	0,4973 K	0,2589 K	0,497 K	0,259 K
+20	0,47227	0,8824 K	0,3218 K	0,2973 K	0,1231 K	0,795 K	0,382 K
+15	0,67373	1,1057 K	0,2233 K	0,2130 K	0,0671 K	1,003 K	0,449 K
+10	0,86149	1,2766 K	0,1709 K	0,1668 K	0,0370 K	1,174 K	0,486 K
+ 5	1,04077	1,4164 K	0,1398 K	0,1385 K	0,0182 K	1,313 K	0,504 K
0	1,21597	1,5364 K	0,1200 K	0,1199 K	0,0052 K	1,433 K	0,510 K
— 5	1,39117	1,6436 K	0,1072 K	0,1071 K	— 0,0047 K	1,540 K	0,505 K
—10	1,57045	1,7425 K	0,0989 K	0,0981 K	— 0,0129 K	1,638 K	0,492 K
—15	1,75821	1,8365 K	0,0940 K	0,0918 K	— 0,0203 K	1,730 K	0,472 K
—20	1,95967	1,9285 K	0,0920 K	0,0877 K	— 0,0277 K	1,818 K	0,444 K
—25	2,18135	2,0207 K	0,0922 K	0,0852 K	— 0,0353 K	1,903 K	0,409 K
—30	2,43194	2,1158 K	0,0951 K	0,0844 K	— 0,0439 K	1,987 K	0,365 K
—35	2,72360	2,2160 K	0,1002 K	0,0345 K	— 0,0538 K	2,072 K	0,311 K
—40	3,07426	2,3246 K	0,1036 K	0,0862 K	— 0,0661 K	2,158 K	0,245 K
—45	3,51156	2,4454 K	0,1208 K	0,0891 K	— 0,0816 K	2,247 K	0,163 K
—50	4,08068	2,5834 K	0,1380 K	0,0932 K	— 0,1017 K	2,340 K	0,062 K
—55	4,86011	2,7460 K	0,1626 K	0,0990 K	— 0,1290 K	2,439 K	—0,068 K
—60	5,99703	2,9440 K	0,1980 K	0,1064 K	— 0,1670 K	2,546 K	—0,235 K

Winkel λ in Graden	L	s = K.nat.log(1+3,7321L)	$\Delta s \cdot K$	$\Delta x = \Delta s.K.\text{Cos}\left(\frac{\lambda+\lambda'}{2}\right)$	$\Delta y = \Delta s.K.\text{Sin}\left(\frac{\lambda+\lambda'}{2}\right)$	Abscisse x.	Ordinate y
+15	0,00000	0,0000 K	0,0000 K	0,0000 K	0,0000 K	0,000 K	0,000 K
+10	0,18776	0,5311 K	0,5311 K	0,5185 K	0,1150 K	0,519 K	0,115 K
+ 5	0,36704	0,8628 K	0,3317 K	0,3289 K	0,0433 K	0,847 K	0,158 K
0	0,54224	1,1065 K	0,2437 K	0,2435 K	0,0106 K	1,091 K	0,169 K
— 5	0,71744	1,3022 K	0,1957 K	0,1955 K	— 0,0085 K	1,286 K	0,160 K
—10	0,89672	1,4694 K	0,1672 K	0,1658 K	— 0,0218 K	1,452 K	0,139 K
—15	1,08448	1,6189 K	0,1495 K	0,1460 K	— 0,0324 K	1,598 K	0,106 K
—20	1,28594	1,7577 K	0,1388 K	0,1324 K	— 0,0417 K	1,731 K	0,065 K
—25	1,50762	1,8911 K	0,1334 K	0,1232 K	— 0,0511 K	1,854 K	0,013 K
—30	1,75821	2,0231 K	0,1320 K	0,1171 K	— 0,0610 K	1,971 K	—0,048 K
—35	2,04987	2,1576 K	0,1345 K	0,1134 K	— 0,0723 K	2,084 K	—0,120 K
—40	2,40053	2,2985 K	0,1409 K	0,1118 K	— 0,0858 K	2,196 K	—0,206 K
—45	2,83783	2,4502 K	0,1517 K	0,1118 K	— 0,1025 K	2,303 K	—0,303 K

Die zwei Bahnen, welche sich aus den Rechnungsresultaten der vorstehenden zwei Tabellen ergeben, erscheinen ebenfalls in Fig. 26 zugleich mit den Bahnen aufgetragen, welche dieselben Körper bei gleicher Wurfsgeschwindigkeit und gleichem Wurfswinkel im luftleeren Raume beschreiben würden. Diese letztern Bahnen sind mit punktirten Linien in der Figur bezeichnet, während die Bahnen im widerstehenden Mittel durch fortlaufende Linien ausgedrückt sind. Fig. 26. Tab. 65.

Aus dieser Zeichnung ist hauptsächlich der grosse Unterschied ersichtlich, welchen die Bahn geworfener Körper im widerstehenden Mittel gegen die Bahn im luftleeren Raume macht, im Falle die Körper m i t g r o s s e r G e s c h w i n d i g k e i t, wie es in den obigen Beispielen angenommen wurde, geworfen werden. Dieser Unterschied ist so bedeutend, dass man hier kein bestimmtes Verhältniss zwischen beiden Bahnen auch nicht beiläufig annehmen kann. In dieser Hinsicht werden in der Artillerie gewöhnlich Probeschüsse gemacht, die Wurfsweite bei 45 Grad gemessen und hieraus die Erhöhungswinkel der Kanonen, welche man in jedem Falle anzunehmen hat, beurtheilt. Zur richtigen Beurtheilung dieser Winkel müsste man aber immer erst für verschiedene Dichtigkeiten der Luft die Bahn berechnen und dieselbe mit dem Ergebnisse des Probeschusses vergleichen, um hieraus auf die Bahnen bei andern Wurfswinkeln schliessen zu können. Da übrigens eine unter 45°, unter 30° oder unter 15° abgeschossene Kugel nach dem vorstehenden Beispiel den Horizont unter 67,8°, 52,4° und unter 26,1° trifft, so sieht man, dass die Annahme eines Wurfswinkels von höchstens 30° nach der Angabe einiger Schriftsteller zur approximativen Bestimmung der Schussweite nicht hinreichen könne, weil die Tangenten der Winkel über 45° grösser als 1 sind, demnach ihre höhern Potenzen nicht verschwinden können.

§. 353.

Wir haben bereits §. 125 eine kurze **Darstellung der Vortheile der Schiffahrt mittelst Kanälen und Schleussen** gegeben. Da die Beschreibung und Darstellung der englischen Eisenbahnen, welche am Schlusse des I. Bandes dieses Werkes aufgenommen wurde, bei unsern Lesern so vielen Beifall fand, so glauben wir, dass es eben so interessant seyn dürfte, eine gedrängte Beschreibung der Anlage der vorzüglichsten in England ausgeführten Kanäle, so wie auch eine Darstellung der kommerziellen Verhältnisse derselben, nämlich des Statt findenden Verkehres, der Auslagen für ihren Bau, ihre Unterhaltung und der Einnahmen bei ihrer Benützung zu liefern. Diese Darstellung dürfte die über diesen Gegenstand bekannt gemachten Schriften, *Phillips History of Inland Navigation*, *Sutcliff Treatise on Canals and Reservoirs*, *Smeaton Reports on Canals*, *Dupin voyages dans la grande Bretagne*, *Cordier histoire de la navigation intérieure*, *Huerne de Pommeuse des Canaux navigables*, *Hogrewe* Beschreibung der in England angelegten schiffbaren Kanäle und andere Werke hierüber ergänzen und gegenwärtig noch einen besondern Werth erlangen, nachdem man sich in mehreren deutschen Staaten mit der Untersuchung beschäftigt, ob die Anlage einer Eisenbahn oder eines Kanales zur Herstellung einer Kommunikazion vorzuziehen sey.

Unter der glänzenden Regierung der Königin *Elisabeth* (1558 — 1603) wurde der erste Grund zu Englands Gewerben, Handel und Seemacht gelegt. Sie beförderte und unterstützte die Manufakturen und begünstigte den auswärtigen Handel. Unter der spätern Regierung der Königin *Anna* (1702 — 1714) wurde das glückliche Verwaltungssystem, dem England seine Grösse verdankt, noch mehr entwickelt. Die Engländer waren früher nur Seefahrer, welche andern Nazionen um bedungene Frachtlöhne Waaren und Güter zur See führten. Mehrere weise Verordnungen, deren Zweck die Beförderung der inländischen Industrie war, wurden unter *Anna's* Regierung erlassen; zur Emporbringung der Schiffahrt wurden grosse Prämien ausgesetzt. Es ist bekannt, dass diese Königin, um ihrem Parlamente ein sichtbares Zeichen dessen zu geben, worauf die Aufmerksamkeit dieser hohen Versammlung gerichtet seyn sollte, ausdrücklich befahl, dass der Lordkanzler seinen Sitz auf einem Wollsacke einnehmen solle, welches noch bis zum heutigen Tage der Fall ist. Wo die Wichtigkeit der Industrie in solchem Grade erkannt, gewürdigt und dieselbe mit kräftiger Hand unterstützt wird, dort wird der Wohlstand unfehlbar zunehmen und die Nazion mit raschen Schritten auf einen Standpunkt gelangen, dessen Höhe vorher kaum gekannt wurde! —

Die Unternehmung der zahlreichen Kanäle und Strassen in England wird von den ersten Schriftstellern als eine wichtige Quelle der Wohlhabenheit und des Reichthumes angesehen, welcher in England seit den letzten 70 Jahren so sehr über Hand genommen hat. Mit Recht sagt *Cordier*, dass, so lange England keine Kanäle und gute Strassen hatte, auch sein Handel bloss auf die Seehäfen beschränkt war; wie jedoch Strassen erbaut, Kanäle angelegt und Flüsse schiffbar gemacht wurden, entstanden auch Manufakturen im Innern des Landes, der Ackerbau vervollkommnete sich, der Handel nahm zu und die Einkünfte des Staates und der Privaten wuchsen in gleichem Verhältnisse mit den verbesserten Kommunikazionen. Durch diese Mittel ist der Gewerbsfleiss, die

Wohlhabenheit und die Aufklärung als eine weitere Folge selbst in die bis dahin verlassenen und wilden Gebirge Schottlands gedrungen, die vormals unfruchtbaren Heiden wurden kultivirt, neue Städte und Ortschaften stiegen überall aus den vorher volksleeren Gegenden hervor, selbst die Berge wurden bewässert, und ihr Inneres mit bestem Erfolge bis in die grösste Tiefe durchwühlt. Wenn man bedenkt, dass alle in England bestehenden Kanäle seit den letzten 70 Jahren neu erbaut, dass die meisten Strassen, Brücken, Häfen, Leuchtthürme und andere Kunstwerke in derselben Zeit theils neu angelegt, theils bedeutend verbessert worden sind, dass die ungeheuere Anzahl der Manufakturen dieses Landes grösstentheils erst in dieser kurzen Zeit entstanden ist, und dass diese Unternehmungen mit Ausnahme einiger wenigen, sämmtlich von Privatvereinen und einzelnen Privaten und vorzüglich zu einer Zeit ausgeführt wurden, wo ganz Europa und besonders England unter den Drangsalen höchst kostspieliger Kriege seufzte; so müssen diese Betrachtungen den unbefangenen Beobachter in das höchste Staunen versetzen. Es ist unbezweifelt, dass England nur durch die Anhäufung so vieler nützlicher Arbeiten zu einem so hohen Grade der Macht gelangte. Der Staat hat dort den Privaten die Sorge überlassen, Brücken, Strassen und Kanäle zu erbauen, Flüsse schiffbar zu machen und andere öffentliche Arbeiten auszuführen; wenige Jahre reichten hin, den grössten Theil der nützlichsten Bauten zu beendigen, mehr als vierhundert Millionen *Livres sterling* wurden hierzu verwendet und in weniger als 30 Jahren haben sich dadurch die Einkünfte der Privaten den Berechnungen verlässlicher Schriftsteller zu Folge um 90 Millionen *Liv. sterl.* vermehrt. Wie sehr muss diess den Wunsch rege machen, auch bei uns ähnliche Unternehmungen ausgeführt zu sehen! — Hierunter behaupten gute Komunikazionswege immer einen vorzüglichen Platz. Eine grosse, über Berge und Abgründe geführte Strasse vereinigt zwei Völker durch den Handel, welche durch die Natur von einander getrennt und beinahe eines dem andern unbekannt sind; ein Kanal vereinigt Provinzen, welche bisher von einander isolirt und beinahe fremd waren, und grosse über Flüsse erbaute Brücken, so wie die Regulirung der Flüsse, die Herstellung der Seehäfen und andere ähnliche grosse Arbeiten, wobei Tausende reichlichen Erwerb finden, tragen offenbar dazu bei, um Nazionen reich und mächtig zu machen. — Wohl mit Recht sagte der Staatssekretär *Canning* bei dem Gastmahle der Gesellschaft der Schiffsrheder im Februar 1825: „Wir „besitzen kein Mittel, das die andern Nazionen nicht gleichfalls in sich selbst trügen;“ „der Grund unserer Wohlfahrt liegt in der unzerstörbaren Energie des brittischen“ „Volkes und in jenem Unternehmungsgeiste, der seinen Handel bis an das Ende der“ „Welt ausdehnt und das ganze Menschengeschlecht in Erstaunen setzt.“

§. 354.

Die Anlage der Kanäle wird durch die Lage und das Klima von England ausserordentlich begünstigt; die Westwinde, welche während des grössten Theiles des Jahres daselbst herrschen, die starken Nebel und häufigen Regen vermehren einerseits die Menge der Gewässer und vermindern die Ausdünstung; endlich ist die Wärme in dem grössten Theile des Jahres so gemässigt, dass die Kanäle und Flüsse beinahe immer schiffbar bleiben. Inzwischen ist die Schwierigkeit des Baues der Kanäle weit grösser, als in den flachen Niederlanden, in Holland und der Lombardei, indem Eng-

land durch eine grosse Kette von Gebirgen, die parallel zu seiner westlichen Seite fortläuft, dann durch eine zweite Gebirgskette, welche entlängst seiner südlichen Grundlinie fortgeht, der Anlage von Kanälen bedeutende Schwierigkeiten entgegensetzt. Die erste grosse Gebirgskette ist von 21 Kanälen durchschnitten, welche dazu dienen, die in entgegengesetzter Richtung laufenden Flüsse zu verbinden und auf diese Art den deutschen Ocean und das Atlantische Meer mit dem Irrländischen Meere zu vereinigen. Die Anlage dieser Kanäle forderte die Durchgrabung von 48 unterirdischen Stollen (*Tunnels*), deren ganze Länge über 9 deutsche Meilen beträgt und die häufig in dem schwierigsten Terrain durchgebrochen wurden.

Da England mit Schottland sehr lang und verhältnissmässig schmal ist, so musste man von Strecke zu Strecke eine Schiffahrt quer durch das Land in der Richtung von Ost nach West eröffnen, um die östlichen gegen den Kontinent von Europa liegenden Küsten mit den westlichen, welche Irrland und den vereinigten Staaten in Nordamerika gegenüber liegen, zu verbinden und dadurch den bedeutend langen und gefährlichen Umweg zu vermeiden, welcher durch Umfahrung der mit gefährlichen Klippen versehenen nördlichen Spitze oder der ausgedehnten östlichen, südlichen und westlichen Seite verbunden ist.

Die vorzüglichsten Handelshäfen, welche sich in England befinden, sind: *London* an der *Themse*, *Hull* am *Humber*, *Liverpool* an der *Mersey* und *Bristol* an der *Severn*; es sind daher auch die meisten Kanäle entweder mit diesen Städten unmittelbar, oder durch andere Kanäle oder schiffbare Flüsse verbunden.

Die Kanäle in England sind zweierlei Art, jene der grossen Schiffahrt und jene der kleinen Schiffahrt. Auf den erstern gehen breitere, auf den zweiten schmälere Schiffe, ohne dass übrigens eine genaue Bestimmung hierüber Statt fände, nachdem die Unternehmer der Kanäle die Dimensionen derselben nach eigenem Ermessen bestimmen. Im Allgemeinen haben die Schleussen bei den kleinen und grossen Kanälen 70 bis 72 englische Fuss zur Länge und bei den kleinen Kanälen gewöhnlich 7 Fuss, bei den grossen aber 14 Fuss zur Breite. Die Kanalschiffe sind diesen Dimensionen gemäss eingerichtet und sind daher je nach der Grösse der Schleussen auch
Fig. kürzer oder länger und schmäler oder breiter. Fig. 1 und 2 Tab. 66 enthalten die Dar-
1 stellung der Schleussen des Kanales zwischen *Birmingham* und *Liverpool*, welcher für
bis die kleine Schiffahrt berechnet ist; hierbei sind einfache Thore angewendet. Fig 3 bis 5
5. Tab. stellt eine Schleusse von 30 Fuss Breite und 150 Fuss Länge vor. Wir liefern Seite 499
66. bis 507 eine Detail-Uibersicht der vorzüglichsten in England bestehenden Kanäle mit ihrer Länge, der Steigung und dem Falle, der Angabe der unterirdischen Strecken oder Stollen, der Baukosten und des Jahres ihrer Beendigung. Diese Uibersicht ist aus dem grossen Werke: *Des Canaux navigables, par M. Huerne de Pommeuse, Membre de la Chambre des Députés* entlehnt. Nach dieser Uibersicht wird ein in *London* im August 1829 öffentlich erschienener Ausweis über den dermaligen Preiss oder den Kaufschilling einer jeden im Börsehandel vorkommenden Kanalakzie folgen, da sich hieraus der Erfolg dieser Unternehmungen wohl mit Verlässlichkeit beurtheilen lässt. Endlich werden wir eine kurze Beschreibung der grössten Kanäle mit Angabe der vorzüglichen hierbei vorkommenden Bauobjekte und des Statt findenden Verkehres mittheilen.

Uibersicht der englischen Kanäle
nach *Huerne de Pommeuse.*

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen.	Gefälle: Steigung (engl. Fuss)	Gefälle: Fall (engl. Fuss)	Unterirdische Stollen: Länge (Yards)	Unterirdische Stollen: Breite (Fuss)	Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
1	*Aberdare*	7 1/4	40	,,	,,	,,	35500	1793	Die Boote, welche den Kanal befahren, sind 12 Fuss lang und 5 Fuss breit.
2	*Aberdeenshire*	19	170	,,	,,	,,	50000	1805	Der Kanal ist 20 Fuss breit, 3,5 Fuss tief und hat 17 Schleussen.
3	*Andover*	22 1/2	,,	177	,,	,,	,,	1790	Der Kanal wird nicht mehr benützt.
4	*Arundel*	11	,,	,,	,,	,,	,,	1791	Der Kanal fängt am Flusse *Arund* an und geht bis *Midhurst*.
5	*Ashby-de-la-Zouch* .	40 1/4	140	84	700	,,	200000	1805	Der Kanal steht mit 2 Eisenbahnen von 3 1/2 und 6 Meilen in Verbindung; eine Dampfmaschine hebt das Wasser auf den Scheidungspunkt.
	Seitenkanal *Swodling*	2 1/8	,,	,,	200	,,	,,		
6	*Ashton-Underline* od. *Manchester et Oldham*	7	152	,,	,,	,,	170000	1797	Der Kanal ist an der Wasseroberfläche 33 Fuss und am Boden 15 Fuss breit, 5 Fuss tief und die Boote laden 25 Tonnen.
	Seitenkanal v. *Ashton*	1 1/4							
	,, *Newmill* .	3 3/4							
	,, *Stockport* .	6							
7	*Barnsley*	14	,,	120	,,	,,	97000	1799	Der Kanal hat 20 Schleussen und eine Brückenwasserleitung. Die Schiffe sind eben so gross wie jene am Flusse *Calder*.
	Seitenkanal von *Hay-Bridge* . .	2 1/2							
	,, *Sik-Stone*	1 1/2							
8	*Basingstoke*	37	195	,,	1320	,,	186000	1796	Der Kanal hat 72 Brücken, 29 Schleussen, die Boote laden 45 Tonnen.
9	*Birmingham*	22 1/2	35	169	,,	,,	115000	1772	Von diesen 2 Kanälen wird noch später gehandelt.
10	*Birmingham et Fazeley*	16 1/2	,,	248	,,	,,	,,	1790	
11	*Brecknock*	33	68	,,	220	,,	150000	1802	Der Kanal steht mit 3 Eisenbahnen von 1, von 4 3/4 und von 1 1/4 Meilen in Verbindung.
12	*Bridgewater*	40	,,	84	,,	,,	220000	1776	Von diesem Kanal wird noch später gehandelt.
13	*Burrowstowness* . .	7	,,	,,	,,	,,	8000	1790	Dieser Kanal wurde zur Vermeidung einer gefährlichen Strecke des Flusses *Forth* erbaut.
	Fürtrag . .	294 1/8							

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen	Gefälle		Unterirdische Stollen		Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
			Steigung	Fall	Länge	Breite			
			engl. Fuss	engl. Fuss	*Yards*	Fuss			
	Uebertrag . .	$294\frac{1}{8}$							
14	*Caistor*	9	,,	,,	,,	,,	25000	1793	Der Kanal geht von *Kesley* bis *Caistor.*
15	*Caldon - Uttoxeter* . .	28	136	,,	,,	,,	,,	,,	Dieser Kanal steht mit dem *Grand Trunk* (Nr. 47) in Verbindung.
16	*Caledonian*	59	94	90	,,	,,	800000	1820	Hiervon wird später gehandelt.
17	*Cardiff,* oder *Glamorganshire*	25	600	,,	,,	,,	500000	1795	Der Kanal steht mit mehreren Eisenbahnen, worunter eine von $26\frac{3}{4}$ Meilen Länge, in Verbindung.
18	*Chester*	$17\frac{1}{2}$	,,	170	,,	,,	80000	1775	Der Kanal steht mit jenem von *Ellesmere* in Verbindung.
19	*Chesterfield*	46	45	335	2850 153	$9\frac{1}{2}$	160000	1776	Der Kanal hat 65 Schleussen; auf dem untern Theile tragen die Boote 50 bis 60, auf dem höhern Theile 20 bis 22 Tonnen Ladung.
20	*Codbeck - Broock* . . .	6	,,	,,	,,	,,	,,	1767	
21	*Columb (St.)*	7	,,	,,	,,	,,	,,	1775	Der Kanal wird vorzüglich zum Steintransport gebraucht.
22	*Coventry*	27	,,	96	,,	,,	120000	1790	Dieser Kanal bildet einen Theil der schiffbaren Linie zwischen *London* und *Liverpool.*
	Seitenkan. von *Griff* .	1							
	,, *Bedworth* .	6							
	,, *Coventry* .	$4\frac{3}{4}$							
23	*Crinan*	9	58	59	,,	,,	230000	1805	Der Kanal hat 12 bis 15 Fuss Tiefe und trägt Schiffe von 200 Tonnen Gehalt.
24	*Cromford*	18	80	,,	2966	9	80000	1794	Der Kanal ist 26 Fuss breit und die Boote 80 Fuss lang, $7\frac{1}{6}$ Fuss breit und $3\frac{1}{3}$ Fuss tief; der Kanal geht mittelst einer Brücken - Wasserleitung über den Fluss *Derwent.*
	Seitenkan. von *Pinxton*	3							
	,, *Swanwich*	$1\frac{1}{2}$							
	,, *Biggarlee*	$1\frac{1}{2}$							
25	*Croydon*	$9\frac{1}{2}$	150	,,	,,	,,	80000	1801	Der Kanal hat 23 Schleussen.
	Fürtrag . .	$572\frac{7}{8}$							

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen.	Gefälle: Steigung (engl. Fuss)	Gefälle: Fall (engl. Fuss)	Unterirdische Stollen: Länge (Yards)	Unterirdische Stollen: Breite (Fuss)	Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
	Uebertrag . .	$572\frac{7}{8}$							
26	*Cyfarthfa*	3	„	„	„	„	„	„	Der Kanal wird mit kleinen Booten von Eisenblech, die 15 Fuss lang, 8 Fuss breit sind und 2 Fuss tief gehen, befahren.
27	*Dearn and Dove* . .	$9\frac{1}{2}$	125	„	„	„	100000	1804	Der Kanal hat eine Brückenwasserleitung, die Boote laden 50 bis 60 Tonnen.
	Seitenkan. v. *Rockliff*	$3\frac{1}{4}$							
	„ *Cobcaring*	$1\frac{3}{4}$							
28	*Derby*	9	29	49	„	„	90000	1794	Der Kanal hat 44 Fuss obere Breite, 24 Fuss an der Sohle und 5 Fuss Tiefe.
	Seitenkan. v. *Erruwash*	$8\frac{1}{2}$	29						
29	*Donnington-Wood* .	„	„	„	„	„	„	1778	Die Boote laden 25 Tonnen.
30	*Dorset et Sommerset*	42	„	„	„	„	225000	1803	Der Kanal verbindet den *Kennet* und *Avon* Kanal mit dem Flusse *Stour*.
	Seitenkan. von *Mettlerbridge*	9							
31	*Driffield*	11	„	„	„	„	„	1801	
32	*Droitwich*	$5\frac{3}{4}$	59	„	„	„	33400	1768	Der Kanal hat 8 Schleussen.
33	*Dublin et Shanon* . .	$61\frac{1}{2}$	„	„	„	„	380000	1804	Der Kanal geht von *Dublin* bis Moy am *Shannon*.
34	*Dudley*	$10\frac{1}{2}$	„	85	3776 623 2926	$13\frac{1}{2}$	229100	1776	Der Kanal hat 5 Fuss Wassertiefe, 16 Schleussen und 3 unterirdische Stollen.
	Seitenkan. von *Stourbridge*	2							
	„ *Dudley* . .	$1\frac{1}{4}$							
35	*Edinburgh et Glasgow*	50	„	„	„	„	„	„	
36	*Ellesmere*	109	380	375	1262	„	500000	1804	Hiervon wird noch später gehandelt.
37	*Erewash*	$11\frac{3}{4}$	181	„	„	„	„	1777	
38	*Fazeley*	11	„	„	„	„	„	1790	
39	*Forth and Clyde* . . .	35	165	156	„	„	421525	1790	Hiervon wird noch später gehandelt.
	Seitenkan. v. *Glasgow*	$2\frac{1}{4}$							
40	*Foss-Dyke*	11	„	„	„	„	„	„	
41	*Glasgow and Salcoats* oder *Ardrossan* . .	$33\frac{1}{4}$	64	104	„	„	253000	1812	
42	*Glenkenns*	27	„	„	„	„	45000	1802	
43	*Gloucester*	$18\frac{1}{2}$	„	„	„	„	200000	1805	Der Kanal hat 70 Fuss obere Breite, 15 bis 18 Fuss Tiefe und die Schleussen nehmen Schiffe mit 300 Tonnen Gehalt auf.
	Seitenkan. v. *Hockcrib*	2							
	Fürtrag . .	$1061\frac{5}{8}$							

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen	Gefälle: Steigung (engl. Fuss)	Gefälle: Fall (engl. Fuss)	Unterirdische Stollen: Länge (*Yards*)	Unterirdische Stollen: Breite (Fuss)	Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
	Uebertrag . .	$1061\frac{5}{8}$							
44	*Grande Junction* . .	$93\frac{3}{4}$	395 137	192 36	3080 2045	15	2000000	1805	Dieser Kanal gehört zur schiffbaren Linie zwischen *London* und *Liverpool.*
	Seitenkan. v. *Paddington.* . .	14							
	6 andere Seitenkanäle	40							
45	*Grand-Surrey* . . .	12	„	„	„	„	60000	1801	Dieser Kanal hat grosse Dimensionen und wird von den *Themse*-Schiffen befahren; in *Merton* ist eine Brückenwasserleitung.
	Seitenkan. v. *Vauxhal*	$\frac{3}{4}$							
	„ *Horsemonger* . .	$1\frac{1}{2}$							
	„ *Pockham* .	$\frac{1}{2}$							
	„ *Deptford* .	$\frac{1}{4}$							
46	*Grand-Western* . . .	35	„	„	„	„	330100	1796	Der Kanal beginnt am Meere bei *Topsham* und mündet in den Fluss *Tone*; er hat 4 grosse *Reservoirs.*
	Seitenkan. v. *Tiverton*	7							
47	*Grand Trunk*	93	316	326	130 572 350 2888	9	400000	1777	Hiervon wird noch später gehandelt.
	Seitenkanäle	37							
48	*Grantham*	$33\frac{3}{4}$	148	„	„	„	124000	1799	Dieser Kanal wird ganz mit Wasser aus angelegten Behältern gespeist.
	Seitenkan. v. *Bingham*	3							
49	*Gresley*	5	„	„	„	„	„	1775	Dieser Kanal verbindet sich mit jenem Nr. 70.
50	*Haslingden*	13	„	„	„	„	87000	1793	Dieser Kanal verbindet jenen Nr. 63 mit Nr. 59.
51	*Hereford et Gloucester*	$36\frac{1}{2}$	195	30	2192 1320 440	„	55000	„	Der Kanal geht 2 mal über den Fluss *Leadon* und einen Arm der *Severn.*
52	*Huddersfield*	$19\frac{1}{2}$	334	436	3 Meilen	„	274000	1798	Der Kanal hat eine Brückenwasserleitung von Stein mit gusseisernem Bette.
53	*Hull and Leven.* . .	5	„	„	„	„	„	1805	Dieser Kanal gehört der *Miss Charlotte Bethel.*
54	*Ivelches and Longport*	7	„	„	„	„	8000	1795	Der Kanal geht von *Longport* bis *Ivelchester.*
55	*Kennet and Avon* . .	57	176	87	$2\frac{3}{4}$ Meilen	„	810000	1801	Der Kanal hat eine Brückenwasserleitung über den Fluss *Avon*, die Boote laden 50 Tonnen.
56	*Ketley*	$1\frac{1}{2}$	„	73	„	„	„	1781	An diesem Kanal wurde die erste schiefe Fläche zum Herabfahren der Boote erbaut.
	Fürtrag . .	$1577\frac{1}{8}$							

Nr.	Namen der Kanäle	Länge in engl. Meilen	Gefälle Steigung	Fall	Unterirdische Stollen Länge	Breite	Baukosten in Liv. sterl.	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
			engl. Fuss		Yards	Fuss			
	Uebertrag . .	$1577\frac{1}{8}$							
57	*Kington and Leominster*	$45\frac{3}{4}$	496	48	3850 1250	„	370000	1797	Der Kanal hat 3 Brückenwasserleitungen, womit er über Flüsse geführt ist.
58	*Lancaster*	76	222	65	800 800	„	614000	1799	Er hat 7 Fuss Wassertiefe, die Boote sind 56 Fuss lang, 14 Fuss breit und laden 60 Tonnen. Von 3 grossen Brückenwasserleitungen ist jene über den Fluss *Loyne* von Stein, 51 Fuss hoch und hat 5 Bogen von 70 Fuss Spannung.
	Seitenkan. v. *Warton-Craggs* . .	$2\frac{1}{2}$							
	„ *Duxbury* .	$2\frac{7}{8}$							
59	*Leeds and Liverpool*	130	431	410	1609 1609	„	600500	1774	Hiervon wird noch später gehandelt.
	Seitenkan. von *Igton-Hill*	„							
	„ *Walton* . .	„							
60	*Leicester*	$21\frac{1}{2}$	45	185	„	„	84000	„	Der Kanal verbindet *Loughborough* mit dem Flusse *Soar*.
61	*Leicestershire and Northamptonshire* od. *Union et Grande-Union*	$43\frac{3}{4}$	210	197	1056 990 880 286	„	300000	1805	Der Kanal verbindet die Schiffahrt von *Leicester* mit dem Flusse *Nen*.
62	*Loughborough*	$9\frac{1}{2}$	„	41	„	„	„	1776	Der Kanal verbindet den Fluss *Trent* mit *Loughborough*.
63	*Manchester - Bolton-Bury*	15	187	„	„	„	97000	1797	Er hat 12 Schleussen und 2 Brückenwasserleitungen, wovon eine über den *Irwell* bei *Clifton-Hall*.
	Seitenkan. v. *Haslingden* . .	4							
64	*Market-Weighton* .	11	35	„	„	„	„	1772	Der Kanal geht vom Fluss *Humber* bis *Market-Weighton*.
65	*Monkland*	12	96	„	„	„	„	„	Der Kanal hat 35 Fuss obere, 24 Fuss untere Breite und 5 Fuss Tiefe. Von 8 Schleussen hat jede 12 Fuss Fall, 71 Fuss Länge und 14 Fuss Breite.
	Fürtrag . .	1951							

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen	Gefälle: Steigung	Gefälle: Fall	Unterirdische Stollen: Länge	Unterirdische Stollen: Breite	Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
			engl. Fuss		*Yards*	Fuss			
	Uebertrag . .	1951							
66	*Montgomeryshire* . . Seitenk. v. *Welshpool*	27 3¼	„	225	„	„	92000	1797	Dieser Kanal steht mit einem Arme des Kanals von *Ellesmere* in Verbindung.
67	*Monmouthshire* . . .	17¾	1057	„	„	„	275330	1796	Hiervon wird noch später gesprochen.
68	*Neath*	14	„	„	„	„	35000	1798	Der Kanal hat eine Brückenwasserleitung.
69	*Newcastle - Junction*	3	„	„	„	„	12000	1798	Er fängt in dem *Newcastle-Underline*-Kanal an und endigt sich am Kanale des *Sir Rigel Boyer Grestey*.
70	*Newcastle - Underline*	3	„	„	„	„	10000	1795	Dieser Kanal verbindet den *Grand Trunk* mit dem *Newcastle - Junction*.
71	*Northwilts*.	8½	„	59	„	„	„	„	Der Kanal verbindet den Fluss *Trent* mit dem *Cromford*kanal.
72	*Nottingham*	15	„	„	„	„	„	1802	Der Kanal hat ein *Reservoir* bei *Amslating* und muss 3000 Kub. Fuss Wasser stündlich zur Unterhaltung einiger Mühlen und des Kanals von *Erewash* liefern.
73	*Nutbrook*	5	„	„	„	„	19500	1793	Er fängt am Kanal von *Erewash* an und geht bis zu den Bergwerken von *Shipley*.
74	*Oakham*	15	126	„	„	„	86000	1803	Der Kanal hat 2 *Reservoirs*.
75	*Oxford*	91½	195	74	„	„	330000	1790	Hiervon wird noch später gehandelt.
76	*Peak - Forest*	21	„	„	„	„	150000	1800	Der Kanal steht mit einer 6 Meilen langen Eisenbahn in Verbindung.
77	*Polbrock*	5	„	„	„	„	18000	1797	Der Kanal geht vom Flusse *Camel* bis *Dunmeer-Bridge*.
78	*Ramsdens*	8	56	„	„	„	„	1774	Der Kanal verbindet den Fluss *Calder* und *Heble* mit dem Kanal von *Huddersfield*.
	Fürtrag . .	2188							

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen.	Gefälle: Steigung (engl. Fuss)	Gefälle: Fall (engl. Fuss)	Unterirdische Stollen: Länge (Yards)	Unterirdische Stollen: Breite (Fuss)	Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
	Uebertrag . .	2188							
79	*Regent*	8	86	,,	,,	,,	700000	1820	Dieser Kanal gehört zu den grössten Bauten in England.
80	*Ripon*	7	,,	,,	,,	,,	,,	1767	Der Kanal verbindet den Fluss *Yore* mit *Ripon*.
81	*Rochdale*	31	338	275	70	21	391000	1804	Hiervon wird noch später gesprochen.
82	*Sankey*	12½	78	,,	,,	,,	,,	1760	Der Kanal hat 48 Fuss Breite, 5½ Fuss Wassertiefe, 18 Brücken, 10 Schleussen und 1 unterirdischen Stollen.
83	*Shorncliff and Rye* od. königl. Militärkanal	18	,,	,,	,,	,,	83893	1809	Der Kanal fängt am Meere bei *Nythe* an, geht in gleichem Niveau fort und trägt Schiffe von 200 Tonnen Gehalt.
84	*Shrewsbury*	17½	155	,,	,,	,,	70000	1797	Hiervon wird noch später gesprochen.
85	*Shropshire*.	7½	333	120	,,	,,	47500	1792	Detto.
86	*Sommerset-Coal* . . Seitenkan. v. *Radstack*	8½ 7½	138 138	,,	,,	,,	185000	1802	Der Kanal hat 15 Fuss Breite, die Boote sind 72 Fuss lang und 7 Fuss breit; er hat 22 Schleussen.
87	*Southampton and Salisbury*	17½	,,	,,	,,	,,	96000	1804	Bei dem Kanale ist ein unterirdischer Stollen von bedeutender Länge vorhanden.
88	*Stafford and Worcester*	46½	294	100	,,	9 9 9	100000	1772	Der Kanal hat 30 Fuss Breite, 5 Fuss Wassertiefe, 44 Schleussen, 3 unterirdische Stollen, 4 Brückenwasserleitungen; die Boote laden 20 Tonnen.
89	*Stainforth et Keadby* Seitenkan. von *Don* .	15 1	,,	,,	,,	,,	54000	1798	Er verbindet die Flüsse *Trent* und *Don*.
90	*Stourbridge* Seitenkan. von *Stourbridge* ,, *Pensnett-Chase*	5 1 2	191	,,	,,	,,	30000	1776	Der Kanal hat 28 Fuss Breite, 5 Fuss Wassertiefe und 20 Schleussen.
	Fürtrag . .	2393½							

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen	Gefälle		Unterirdische Stollen		Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
			Steigung	Fall	Länge	Breite			
			engl. Fuss		*Yards*	Fuss			
	Uebertrag . .	2393½							
91	*Stover*	6½	50	,,	,,	,,	,,	1792	Der Kanal geht vom Flusse *Teign* bis *Bowley-Tracey.*
	Seitenk. v. *Chudleigg*	5½							
92	*Stratford-on-Avon*	23½	309	,,	320	,,	225000	1796	Der Kanal verbindet den Fluss *Avon* bei *Strafford* mit dem *Worcester-* und *Birmingham*-Kanal.
	Seitenkan. v. *Hockley*	2½							
	,, *Lapworth*	1¾							
	,, *Wilcomte* .	4							
	,, *Aston-Cantelow*	1							
93	*Stroudwater*	8	,,	108	,,	,,	20000	1796	Der Kanal verbindet den Fluss *Severn* mit dem *Thames-* und *Severn*-kanal.
94	*Swansea*	17½	366	,,	,,	,,	90000	1798	Der Kanal geht von dem Hafen in *Swansea* bis zu den Steinbrüchen von *Hen-Noyadd.*
	Seitenk. v. *Lansamlet*	3							
95	*Tavistock*	4½	237	,,	2500	,,	50000	1810	Der unterirdische Stollen dieses Kanals ist 460 Fuss tief unter der Oberfläche des Berges.
	Seitenkan. v. *Mill-Hill*	2							
96	*Thames and Medway*	8½	,,	,,	,,	,,	60000	1801	Der Kanal verbindet die *Themse* mit dem Flusse *Medway.*
97	*Thames and Severn*	30½	134	243	4300	15	255000	1789	Der Kanal hat 40 Fuss obere, 30 Fuss untere Breite und 5 Fuss Wassertiefe; die Boote sind 80 Fuss lang und laden 70 Tonnen.
	Seitenk. v. *Cirencester*	1							
98	*Warwick and Birmingham*	25	,,	,,	300	,,	180000	1799	Der Kanal hat 32 Schleussen und 3 Brückenwasserleitungen.
99	*Warwick and Napton* oder *Warwick and Braunston*	15	,,	,,	,,	,,	130000	1799	Er verbindet den Kanal Nr. 98 mit jenem von *Oxford.*
100	*Wilts and Berks* . .	52	165	211	,,	,,	311900	1801	Er verbindet den Kanal von *Kennet* und *Avon* mit der *Themse.*
	Seitenk. v. *Chippenham*	1½							
	,, *Calne* . . .	3							
	,, *Wantage* .	1							
101	*Wisbeach*	6	,,	,,	,,	,,	20000	1794	Mit diesem Kanale wird eine Krümmung des Flusses *Nen* abgeschnitten.
	Fürtrag . .	2616¾							

Nr.	Namen der Kanäle.	Länge in engl. Meilen	Gefälle Steigung	Fall	Unterirdische Stollen Länge	Breite	Baukosten in *Liv. sterl.*	Jahr der Beendigung	Anmerkung.
			engl. Fuss		*Yards*	Fuss			
	Uebertrag . .	2616¾							
102	*Worcester and Birmingham*	29	„	428	2700 500 120 400 110	18½	600000	1797	Der Kanal hat 42 Fuss Breite, 6 Fuss Wassertiefe und 5 Stollen; die Schiffe laden 80 Tonnen.
103	*Wyrley and Essington*	23	270	„	„	„	160000	1794	Der Kanal ist 28 Fuss breit, hat 4½ Fuss Wassertiefe, 10 Schleussen, und die Boote laden 18 Tonnen.
	Seitenk. v. *Hay-Head*	5½							
	„ *Lord's-Hay* .	2½							
	„ *Wyrley-Banck*	4							
	„ *Essington*	1							
	„ *Walsall* . .	½							
	Zusammen . .	2682¼							

§. 355.

Beinahe alle Kanäle, welche in der vorstehenden Uibersichtstabelle enthalten sind, wurden von öffentlich gebildeten Akziengesellschaften errichtet. Hierzu muss immer eine Parlamentsakte erwirkt werden, worin die Gesellschaft ermächtigt wird, den Kanal nach den vorgelegten Plänen zu erbauen, die nothwendigen Grundstücke entweder nach freiem Uibereinkommen mit den Eigenthümern oder nach der Entscheidung einer *Jury* anzukaufen, und von allen, den Kanal befahrenden Schiffen eine Tonnen- und Schleussengebühr (*Tonnage and Lockage*) zu erheben, die jedoch den in der Akte für jede Art Güter bestimmten höchsten Satz nicht überschreiten darf. Der Hauptfond einer jeden solchen Unternehmung beruht in dem eingezahlten Akzienbetrage; es werden jedoch häufig auch Darlehen gemacht, wozu die Bewilligung entweder schon in der ersten Parlamentsakte enthalten ist oder in einer zweiten Akte gegeben wird. Die Akzien werden gewöhnlich mit 100 *Liv. st.* eingezahlt und kommen auf den englischen Börsen im Handel vor. Der Kours dieser Papiere ist daher aus der Ursache interessant, weil man hieraus in jedem Falle das pekuniäre Gelingen der Kanalunternehmungen beurtheilen kann. Den verlässlichsten Ausweis dieser Art finden wir in dem wochentlich zweimal in London erscheinenden Blatte: *Course of the Exchange, published by Authority of the Committee of the Stock Exchange, by J. Wetenhall, at N°. 1, Copthall Court, Throgmorton Street; with the addition of the Prices of Canals, Dock Stocks, Assurance Companies etc. etc.* Wir haben hieraus in der nachfolgenden Tabelle die Kourse der Kanalakzien zusammengestellt, wie selbe am 6. Februar 1827 und am 7. August 1829 notirt waren; die Vergleichung dieser Tabelle biethet einen interessanten Uiberblick dar. Man sieht, welche ausserordentlich hohen Erträgnisse bei einigen Kanälen vorhanden sind, wie sehr aber auch andere nicht entsprochen haben.

Uibersicht des Preises der Kanal-Akzien in England.

Nro.	Namen der Kanäle und eingezahlter Betrag auf eine Akzie.	Werth am 6. Februar 1827.				Werth am 7. August 1829.		
		Anzahl der Akzien.	Jährliche Dividende	Zeit der Dividenden Zahlung.	Gegenwärtiger Werth einer Akzie.	Anzahl der Akzien.	Jährliche Dividende	Gegenwärtiger Werth einer Akzie.
1	*Ashton and Oldham* 97 £ 18 *sh*	1766¼ A.	6½ £	Apr. et Okt.	144 £	1760	4 £	127
2	*Ashby-de-la-Zouch* · · · 113 £	1482			50	1482	4 £	80
	do. Bonds, verschied. Beträge	9945 £ 12 sh	5 p. ct.	April				
3	*Barnsley* · · · · · · · · · · · · 160 £	720	14 £	Feb. et Aug.	280	720	14 £	320
4	*Basingstoke* · · · · · · · · · 100 £	1260			9	1260		6 £ 6 sh
	do. Bonds · · · · · · · · 100 £	50000 £	3 p. ct.					
5	*Brecknock and Abergavenny* 150 £	958	9 £	Jän. et Juli	143	1005	8 £	110
	do. Notes · · · · · · · · · · 100 £	56465 £	5 p. ct.			56465 £	5 p. ct.	
6	*Birmingham*, ⅛ Akzie 17 £ 10 *sh*	4000 Achtel Akz.	12½ £	Apr. et Okt.	265	4000 Achtel Akz.	12½ £	292
7	*do. and Liverpool Junction* 55 £					4000		18
8	*Bolton and Bury* · · · · · 250 £	472	6 £		105	477	6 £	107
9	*Bridgewater and Taunton* 100 £	600				600		77½
10	*Chelmer and Blackwater* 100 £	400	5 £	Jänner		400	5 £	102
11	*Coventry* · · · · · · · · · · · · 100 £	500	44 £	Mai et Nov.	1100	500	44 £	1080
12	*Cromford* · · · · · · · · · · · 100 £					400	18 £	420
13	*Croydon* · · · · · · · · 31 £ 2⅚ *sh*	4545			2,6 £	4546		2
	do. Bonds, verschiedene Beträge · · · · · · · 100 £	11810 £	5 p. ct.			11810 £	5 p. ct.	
14	*Dudley* · · · · · · · · · · · · · 100 £	2060¾ A.	4½ £	Mrz. et Spt.		2060¾ A.	3 £	59
15	*Derby* · · · · · · · · · · · · · · 100 £					600	6 £	160
16	*Ellesmere and Chester* 133 £	3575¾ A.	3¾ £	September	100	3575¾ A.	3¾ £	109
17	*Erewash* · · · · · · · · · · · · 100 £					231	70 £	1500
18	*Forth and Clyde* 400 £ 16 *sh*	1297	25 £	Jän. et Juli	596	1297	27 £	650
19	*Grand Junction* · · · · · · 100 £	11600	13 £	Jän. et Juli	288	11600	13 £	295
20	*Grand Union* · · · · · · · · 100 £	2849½ A.			24	2849½ A.	1 £	23½
21	*Grand Surrey* · · · · · · · · 100 £	1500	3 £	Mai et Nov.	50	1521	2½ £	50
	do. (optional) Loan 100 £	60000 £	5 p. ct.	Juni et Dez.	96	60000	5 p. ct.	102
22	*Grand Western* · · · · · · · · 79 £	3096			7½	3096		
23	*Glamorganshire* 172 £ 13⅔ *sh*	600	13,6 £	März, Juni Spt. et Dez.	230	600	13,6 £	265
24	*Gloucester and Berkeley* 100 £	1960				1960		15
25	*do. (optional) Notes* · · · 60 £	269	5 p. ct.			269	5 p. ct.	
26	*Grantham* · · · · · · · · · · · 150 £	749	9 £	Mai	190	749	10 £	215
27	*Huddersfield* · · · · 57 £ 6½ *sh*	6238			19	6238		17½
28	*Kensington* · · · · · · · · · · · 80 £	150			50	100		
29	*Kennet and Avon* 39 £ 18⅚ *sh*	25328	1 £	September	25	25328	1 £ 5 sh	27¾
30	*Lancaster* · · · · · · · 47 £ 6⅔ *sh*	11699½	1 £ 10 sh	April		11699½	1 £	23

Nro.	Namen der Kanäle und eingezahlter Betrag auf eine Akzie.	Werth am 6. Februar 1827.				Werth am 7. August 1829.		
		Anzahl der Akzien.	Jährliche Dividende	Zeit der Dividenden-Zahlung.	Gegenwärtiger Werth einer Akzie.	Anzahl der Akzien.	Jährliche Dividende	Gegenwärtiger Werth einer Akzie.
31	*Leeds and Liverpool* · · 100 £	2879¾ A.	16 £	Mai et Nov.	382	2897¾ A.	18 £	470
	do. (New) · · · · · · · · · 80 £	18¾ A.	12 £	Mai et Nov.				
32	*Leicester* · · · · · · · · · · · 140 £	540	16 £	Jän. et Juli	400	545	18 £	
33	*Leicester and Northampton* 83 £ 10 *sh*	1899	4 £	Jän. et Juli	86	1907	4 £	88
34	*Loughborough* · · · 142 £ 17 *sh*	70	200 £	Jän. et Juli		70	200 £	3700
35	*Monmouthshire* · · · · · · 100 £	2409	10 £	Juni et Dez.	195	2409	12 £	239
	do. (Debentures) · · · · 100 £	43526	5 p. ct.	Mrz. et Spt.				
36	*Montgomeryshire* · · · · · 100 £	700	2 £ 10 sh	August	90	700	4 £	80
37	*Melton Mowbray* · · · · · 100 £	250	11 £	Juli	250	250	9 £	220
38	*Mersey and Irwell* · · · · 100 £	500	35 £	Juni		500	40 £	830
39	*Macclesfield* · · · · · · · · · · 68 £					3000		58
40	*Neath* · · · · · · · · · · · · · · · 100 £	247	15 £	Aug. et Nov.	330	247	20 £	
41	*North Walsham and Dilham* 40 £	600			40			
42	*Oxford* · · · · · · · · · · · · · 100 £	500	32 £	Mrz. et Spt.	660	1786	32 £	670
43	*Oakham* · · · · · · · · · · · · · 130 £					522	2 £	40
44	*Peak Forest* · · · · · · · · · · 78 £	2400	6 £	Juni et Dez.	142	2400	3 £	97
45	*Portsmouth and Arundel* 50 £	2520				2520		15
46	*Regent's (or London)* 33 £ 16½ *sh*	12294			32½	21418	12½ sh	22 £ 7½ sh
47	*Rochdale* · · · · · · · · · · · · · 85 £	5669	4 £	Mai	85	5669	4 £	98½
48	*Shropshire* · · · · · · · · · · · 125 £	500	6 £ 10 sh	Juni et Dec.	135	500	8 £	140
49	*Somerset Coal* · · · · · · · 150 £	800	10 £	Jän. et Juli	170	800	10 £ 10 sh	164
	do. Lock Fund Stock 12½ £	45000 £	5¾ p. ct.	Jun. et Dez.	9	45000 £	6 £ 10 sh	12¾
50	*Stafford and Worcester* 140 £	700	40 £	Feb. et Aug.	750	700	40 £	810
51	*Shrewsbury* 125 £	500	10 £	Mai et Nov.	210	500	10 £	265
52	*Stourbridge* 145 £	300	17 £	Jän. et Juli	340	300	12 £	220
53	*Stratford-on-Avon* 79 £ 9⅔ *sh*	3647	1 £	Oktober	40	3647	1 £ 10 sh	41
54	*Stroudwater* 150 £	200	23 £	Mai et Nov.	450	200	23 £	490
55	*Swansea* 100 £	533	14 £	November	240	533	15 £	270
56	*Severn and Wye* 35 £		2 £ 6 sh	Mrz. et Spt.	31	3762	1 £ 6 sh	25½
57	*Thames and Severn, black* 100 £	1300	1 £ 1 sh	Juni		1300	1 £ 1 sh	23
	do. do., red 100 £	1150	1 £ 10 sh	Juni		1150	1 £ 10 sh	33
58	*Trent and Mersey* ½ Akzie 200 £	1300 halbe Akz.	75 £	Jän. et Juli	1850	2600 Viertl Akz.	37 £ 10 sh	790
59	*Tavistock (Mineral)* . . 100 £	350			110	350		
60	*Thames and Medway* 30 £ 4¼ *sh*	2670			16	4805		4
	do. New 1 £					3344		2
61	*Warwick and Birmingham* 100 £	1000 ganze 1000 halbe	Akz. 11 £	Mai et Nov.	250	1000 ganz. 1000 halb. Akzien	12 £	270

Nro.	Namen der Kanäle und eingezahlter Betrag auf eine Akzie.	Werth am 6. Februar 1827.				Werth am 7. August 1829.		
		Anzahl der Akzien.	Jährliche Dividende	Zeit der Dividenden-Zahlung.	Gegenwärtiger Werth einer Akzie.	Anzahl der Akzien.	Jährliche Dividende	Gegenwärtiger Werth einer Akzie.
62	*Warwick and Napton* · · 100 £	980	11 £	Mai et Nov.	220	980	10 £ 10 sh	215
63	*Worcester and Birmingham* 78 £ 8 *sh*	6000	1 £ 10 sh	Februar	$43\frac{1}{2}$	6000	2 £ 10 sh	68
64	*Wilts and Berks* · 16 £ $17\frac{2}{3}$ *sh*	20000			$5\frac{1}{8}$	20000	4 sh	$5\frac{3}{8}$
65	*Wyrley and Essington* 125 £	800	6 £		176	800	6 £	148
66	*Wisbeach* 105 £	126		Mai	45	126		
67	*Wey and Arun*......... 110 £	905	1 £	Mai		905	1 £	25

§. 356.

Als Schöpfer der englischen Kunstwerke kann man den Ingenieur *Brindley* ansehen, welcher den berühmten Kanal des Herzogs von *Bridgewater* im Jahre 1758 zu bauen anfing. Der Zweck dieses Kanals war die Steinkohlen, welche in den reichen Gruben des Herzogs zu *Worsley* gewonnen wurden, nach *Manchester* zu transportiren. *Brindley*, ein Mühlenbauer, welcher das Vertrauen des Herzogs genoss, verfertigte den Plan zu diesem Kanal und leitete die Arbeiten, welche bloss auf Kosten des Herzogs ausgeführt wurden und auf die Summe von 280000 *Liv. sterl.* im Ganzen stiegen. Der Kanal fängt in zwei unterirdisch geführten Armen bei *Worsley Mill* in dem Berge an, wo die Steinkohlen gewonnen werden und geht sodann mit gleichem Niveau fort. In dieser Linie wird der schiffbare Fluss *Irwell* mittelst einer gemauerten Brückenwasserleitung übersetzt; diese ist 200 *Yards* lang, 36 Fuss breit und besteht aus 3 grossen Bögen, wovon der mittlere 63 Fuss Spannung und 38 Fuss Höhe über den Wasserspiegel des *Irwell* hat, um die Durchfahrt der grössten, den Fluss befahrenden Schiffe mit Masten und Segeln zuzulassen. Diese Brückenwasserleitung war die erste, welche in England ausgeführt wurde. Die Neuheit und Schwierigkeit des Baues und die bedeutenden, hierauf verwendeten Auslagen waren für jene Zeiten so ausserordentlich, dass Niemand in England das Gelingen dieser Unternehmung hoffte. Der Bau derselben fing im September 1760 an und wurde am 17. Juli 1761 beendigt; wie jedoch der Kanal angelassen wurde und das erste Schiff denselben befuhr, während zu gleicher Zeit ein anderes unter dem Kanale mit gespannten Segeln den Fluss *Irwell* herabgleitete, schenkte man diesem Werke so vielen Beifall, dass binnen wenigen Jahren eine Menge Kanäle in allen Gegenden Englands von Privatvereinen ausgeführt wurden.

Der Kanal hat 40 Meilen zur Länge und besteht aus 3 Armen, welche sich zu *Longfort* vereinen, und von da aus nach *Worsley*, nach *Manchester* und nach *Runcorn* an den Fluss *Mersey* gehen. Der Theil des Kanales, welcher zu *Worsley* in das Innere des Steinkohlenwerkes geführt ist, hat bloss 10 bis 11 Fuss Breite und wird mit Booten befahren, die 40 bis 45 Fuss lang, $4\frac{1}{2}$ Fuss breit sind und 8 bis 12 Tonnen Kohlen enthalten. Die ersten Transporte wurden von *Worsley* nach *Manchester* im Jahre 1761 gemacht. Die andern Theile des Kanals sind breiter und werden auch von grössern Schiffen befahren.

Da die zwei Arme innerhalb des Bergwerkes nicht in gleichem Niveau liegen, so wurde, um die Boote von dem höhern Theile auf den niedrigern herabzubringen, daselbst eine schiefe Fläche (*Inclined plane*) von 453 Fuss Länge und der Neigung von 1 : 4 angelegt. Diese schiefe Fläche ist mit Eisenschienen belegt und es wird ein jedes Boot auf einen hinreichend starken, mit niedrigen eisernen Rädern versehenen Wagen aufgefahren und auf diese Art immer ein beladenes Kohlenboot herabgelassen, während ein anderes leeres Boot auf einem zweiten Wagen zu gleicher Zeit hinaufgezogen wird. Der Verkehr auf dem ganzen Kanale ist so bedeutend, dass er gewöhnlich 20 Prozent der verwendeten Baukosten jährlich abwarf, obgleich der Preis der Steinkohlen nach Eröffnung des Kanals auf die Hälfte herabfiel.

Mit dem Kanale des Herzogs von *Bridgewater* stehen einige andere Kanäle in Verbindung. Der *Sankey*kanal von 12½ englischen Meilen Länge fängt an dem Flusse *Mersey* oberhalb *Runcorn* an und endigt an den Steinkohlenbergwerken in der Nähe von *Prescot*. Dieser Kanal hat 48 Fuss Breite, 5½ Fuss Wassertiefe und wird mit grossen mit Segeln versehenen Schiffen befahren. Da der Bau dieses Kanales bereits in Folge einer Parlamentsakte vom Jahre 1755 vorgenommen wurde, und die hiernach gebildete Akziengesellschaft die erste war, welche sich in England zur Ausführung eines Schiffahrtskanales vereinigte, so ist der *Sankey*kanal in der That der erste, der in Grossbritanien zur Ausführung kam. An diesem Kanale befinden sich 8 einfache und 2 doppelte Schleussen; der ganze Fall des Wassers beträgt gegen 60 Fuss. Nach einem, dem Parlamente vorgelegten Ausweise wurden schon im Jahre 1771 auf diesem Kanale nach *Liverpool* 45568 Tonnen und nach *Warrington*, *Northwich* und andere Orte 44152 Tonnen oder zusammen 1⅘ Millionen Zentner Steinkohlen, nebstbei aber eine bedeutende Menge Getreide, Schiefer, Steine und andere Gegenstände transportirt.

Der *Manchester- Bolton* und *Bury*kanal wurde im Jahre 1797 von einer Akziengesellschaft beendigt, die das erforderliche Kapital durch Akzien zu 250 *Liv. st.* zusammengelegt hatte. Nach Beendigung des Baues wurde der Kanal eröffnet, und Jedermann gestattet, denselben gegen Entrichtung einer, durch die Parlamentsakte beschränkten Tonnen- und Schleussengebühr (*Tonnage and Lockage*) zu befahren. Zufolge dem gedruckten Berichte, welcher den Akzionärs am 1. August 1829 vorgelegt wurde, betrug die Einnahme vom 1. Juni 1828 bis 1. Juni 1829 an Tonnen- und Schleussengebühr 5606 *Liv.* 15 *sh.* 8¾ *d.*, an reinem Erträgniss der Passagiersboote 1353 *Liv.* 10 *sh.* und mit Hinzufügung einiger andern Einkünfte 8845 *Liv.* 17 *sh.* 7¾ *d.* Ein Theil hiervon wurde zur Erweiterung des Kanals verwendet, sodann aber eine jährliche Dividende mit 6 *Liv.* per Akzie bezahlt, woraus sich erklärt, warum der Werth der Akzien, wie aus dem Verzeichnisse Seite 508 zu ersehen ist, bedeutend gefallen ist.

Der Kanal von *Rochdale* vereinigt sich in der Stadt *Manchester* mit dem Kanale des Herzogs von *Bridgewater* und geht nach *Rochdale* und *Halifax*. Der Bau dieses Kanals wurde im Jahre 1794 begonnen und 1814 beendigt. Dieser Kanal empfängt sein Wasser aus 5 künstlich angelegten grossen Behältern; eine Dampfmaschine mit der Kraft von 100 Pferden wurde noch besonders erbaut, um das Wasser in einen höhern Behälter hinaufzubringen und dennoch leidet der Kanal bei anhaltender Trock-

niss im Sommer an Wassermangel und die Schiffahrt muss zeitweise unterbrochen werden. Die Unternehmung dieses Kanales beruht auf 5669 Akzien, auf deren jede 85 *Liv.* eingezahlt wurden; ausserdem wurden noch Darlehen gemacht. Zufolge dem Ausweise, welcher den Akzionärs im Frühjahre 1829 vorgelegt wurde, betrug die Brutto-Einnahme vom 1. Jänner bis letzten Dezember 1828 im Ganzen 44350 *Liv.* 11 *sh.* 5 *d.*, wovon eine Dividende von 4 *Liv.* auf die Akzie vertheilt und der übrige Betrag zur Unterhaltung des Kanals, Rückzahlung der Schulden und Bestreitung der Regiekosten verwendet wurde.

Der Kanal von *Ashton* und *Oldham* fängt bei *Manchester* an dem Kanale von *Rochdale* an und geht bis zur Stadt *Ashton.* Dieser Kanal wurde ebenfalls von Privaten auf Akzien errichtet, auf deren jede 97 *Liv.* 18 *sh.* eingezahlt wurde. Nach dem gedruckten Ausweise, welcher den Akzionärs vorgelegt wurde, betrug die Einnahme für Zollgebühren in dem Verwaltungsjahre, welches sich am 24. Juni 1828 endigte, 10968 *Liv.* 14 *sh.* 1½ *d.* und in dem Jahre, welches sich am 24. Juni 1829 endigte, 11331 *Liv.* 12 *sh.* 1½ *d.*, wovon immer 4 oder 5 *Liv.* auf die Akzie vertheilt, und der Rest zur Unterhaltung und Vervollkommnung des Kanals verwendet wurde.

Der Kanal von *Huddersfield* steht mit jenem von *Ashton* in Verbindung, und ist vorzüglich durch eine unterirdische Strecke von 3 engl. Meilen Länge, welche beinahe ganz in Felsen gehauen wurde, merkwürdig. Dieser Stollen ist der längste, welcher in England angelegt wurde, und dient dazu, mittelst des Kanals und der mit ihm in Verbindung stehenden Kanäle die zwei schiffbaren Flüsse *Calder* und *Mersey*, welche sich in die zwei entgegengesetzten Meere ergiessen, zu verbinden. Nebstbei ist hier eine Brückenwasserleitung merkwürdig, welche ein gusseisernes Gerinne hat, das von einem steinernen Bogen getragen wird. Obgleich der Kanal nur 19½ engl. Meilen zur Länge hat, so betrugen die Baukosten bis zum Jahre 1798, wo er beendigt wurde, schon 274000 *Liv.*, welche durch die spätere Einnahme keineswegs hinreichend gedeckt wurden. Nach dem Ausweise, welcher den Akzionärs über die Einnahme vom 1. April 1828 bis 31. März 1829 vorgelegt wurde, war diese zwar 11212 *Liv.* 15 *sh.* 5¾ *d.*; allein die Unterhaltung des Kanals, die Baukosten neuer Anlagen, die Bezahlung von Zinsen und die Regiekosten beliefen sich auf beinahe eben so viel und es konnte keine Dividendenzahlung Statt finden. Hieraus erklärt sich der niedrige Preis dieser Akzien, welcher Seite 508 angeführt erscheint.

Der Peak-Forestkanal beginnt an dem Ende des *Ashton* und *Oldham*-Kanales und ist auf der entgegengesetzten Seite und an einem Seitenarme mit Eisenbahnen in Verbindung, welche zu grossen Kalksteinbrüchen führen. Der Bau dieses Kanals bot ebenfalls sehr grosse Schwierigkeiten dar; mittelst einer Brückenwasserleitung von 3 gewölbten Bogen, deren mittlerer 100 Fuss Höhe hat, ist dieser Kanal über den Fluss *Mersey* geführt. Die Akziengesellschaft benützt nicht bloss den Kanal zur Fracht gegen Entrichtung eines bestimmten Zolles, sondern sie lässt auch in den Kalkbrüchen eine bedeutende Menge Kalk erzeugen, womit sodann Handel getrieben wird. Nach dem gedruckten Berichte, welcher am 4ten Juni 1829 der Generalversammlung der Akzionäre vorgelegt wurde, betrug die erhobene Zollgebühr (*tonnage*) von fremden, der Gesellschaft nicht zugehörigen, auf dem Kanale geführten Gütern in den zwei Benü-

zungsjahren 1828 und 1829, welche sich aber immer am 25ten März endigen, nachstehendes:

	Jahr 1828.			Jahr 1829.		
	£.	*sh.*	*d.*	£.	*sh.*	*d.*
Zollgebühr für Kalksteine	3362	10	0	3668	17	1
„ „ Kalk	2524	19	7	2647	2	10
„ „ Kaufmannsgüter	1486	12	7½	1412	18	11
„ „ Steinkohlen	1022	2	3	1026	1	9
„ „ Mühlsteine	236	17	5	234	6	6½
„ „ verschiedene Gegenstände	89	18	10	134	11	8
Zusammen ...	8723	0	8½	9123	18	9½

Mit Hinzufügung der Einnahme aus dem Handel mit Kalk und Kalksteinen belief sich die jährliche Brutto Einnahme bis zum 25ten März 1829 auf die Summe von 17712 £. 2 *sh.* 10 *d.* Dagegen betrugen die Ausgaben:

		£.	*sh.*	*d.*
Für die Gewinnung des Kalksteines und den Transport desselben		4249	3	2
Für Reparaturen an dem Kanal		890	4	8
Für Reparaturen an den Eisenbahnen		740	3	9½
Gehalte der angestellten Beamten	459 — 2 — 11	} 724	2	1
Besoldungen der Schleussenaufseher	135 — 17 — 10			
Besoldung eines Rechtsfreundes	57 — 3 — 6			
Auslagen der General- und Committeeversammlungen	71 — 17 — 10			
Verschiedene andere Auslagen		453	5	10
Zinsen von Darlehen und bezahlte Taxen		865	6	6½
Für neue Bauten		1871	12	11½
Gezahlte Dividenden für die Akzien		4748	0	0
Zusammen ...		14541	19	½

Der Uiberrest der Einnahme über die Ausgabe, blieb als Reservefond in der Kasse der Gesellschaft. Wir haben diese detailirte Darstellung der Verwaltung einer öffentlichen Unternehmung in der Absicht angeführt, um als Muster für die Akzien-Gesellschaften, welche schon bei uns bestehen, oder noch errichtet werden könnten, zu dienen. Wir sehen hieraus, wie äusserst gering die Regiekosten einer so grossen Unternehmung in England sind; wir finden, dass die gesellschaftlichen Direkzionen bei dieser Gesellschaft wie bei den meisten andern unentgeldlich versehen, und nur ein äusserst geringer Betrag (hier 71 Liv. 17 sh. 10 d.) zur Entschädigung der unmittelbaren Auslagen der Direkzion angerechnet wird; wir sehen ferner, dass diese Direkzion mit kluger Umsicht die Einkünfte der Gesellschaft dadurch bedeutend vermehrte, dass der Kanal nicht bloss dem Publikum gegen Entrichtung einer bestimmten Zollgebühr geöffnet wur-

de, sondern auch überdiess eine eigene Industrie bei Erzeugung von Kalksteinen und gebranntem Kalk Statt fand; endlich sehen wir, dass von den Einkünften der Gesellschaft ein bedeutender Theil zur Vervollkommnung der Unternehmung verwendet, und als Reservefond zurückgelegt wurde, um für unvorgesehene Fälle als Aushilfe zu dienen. Möchte dieses Beispiel, und jene, welche wir noch anführen werden, auch für unsere Gesellschaften wirklich als Muster dienen! —

§. 357.

Die **Wasserverbindungen von *Liverpool*** sind desshalb von besonderer Wichtigkeit, weil dieser Ort die Hauptverbindung zwischen England, Irland und Nordamerika bildet. Bevor wir die Kanäle, welche von *Liverpool* ausgehen, näher beschreiben, wollen wir erst einen Auszug aus einem **offiziellen Ausweis über die Anzahl Seeschiffe, welche seit den letzten 70 Jahren in die *Liverpool Docks* einliefen**, und die Zollgebühr, welche sie entrichteten, unseren Lesern mittheilen. Die Dampfschiffe, welche bloss Reisende nach Irland, Glasgow etc. führen, in der *Mersey* liegen bleiben und daher in die *Docks* nicht einlaufen, sind in diesem Ausweise nicht enthalten; die Anzahl der jährlich im Ganzen nach *Liverpool* einlaufenden Schiffe ist daher weit grösser als die Zahlen in diesem Ausweise. Hierbei sind die Verwaltungsjahre immer bis zum 24. Juni gerechnet.

Jahr	Anzahl der eingelaufenen Seeschiffe	Anzahl der Tonnen	Einnahme für Zölle und Tonnengebühr £.	sh.	d.	Jahr	Anzahl der eingelaufenen Seeschiffe	Anzahl der Tonnen	Einnahme für Zölle und Tonnengebühr £.	sh.	d.
1754	—	—	2095	11	0	1794	4265	—	10678	7	0
1759	1281	—	2372	12	2	1799	4518	—	14049	15	1
1764	1625	—	2780	3	4	1804	4291	448761	26157	0	11
1769	2054	—	4004	5	0	1809	6023	594601	47580	19	3
1774	2258	—	4580	5	5	1814	5706	548957	59741	2	4
1779	2374	—	4957	17	10	1819	7849	867318	110127	1	8
1784	3098	—	6597	11	1	1824	10001	1180914	130911	11	6
1789	3619	—	8901	10	10	1829	11383	1387957	147327	4	11

Bei dieser ausserordentlichen Zunahme des Verkehrs waren die *Docks* in den letzten Jahren nicht mehr hinreichend gross, um alle einlaufenden Seeschiffe aufzunehmen; es wurde demnach im Jahre 1828 eine Parlamentsakte (*Dock Bill*) erwirkt, kraft welcher mehrere neue *Docks* angelegt werden können. Die Arbeiten begannen sogleich und waren im Herbste 1829, als der Herausgeber dieses sich längere Zeit in *Liverpool* aufhielt, im vollen Gange. Die Leitung derselben war dem Ingenieur *Jesse Hartley* anvertraut, welcher hierfür einen jährlichen Gehalt von 1500 *Liv.* bezog. Die Beschreibung der

vorgenommenen Arbeiten gehört mehr in das Baufach und muss demnach hier übergangen werden. Wir bemerken daher bloss, dass nach den öffentlich erschienenen *Accounts of the Trustees of the Liverpool Docks, from the 25th of June 1828, to the 24 th of June 1829* die Grundeinlösung zum Behufe der Anlage dieser neuen *Docks* 110244 *Liv.* 18 *sh.* 0 *d.* oder mehr als eine Million Conv. Gulden betrug, und in diesem Jahre noch mehr als zweimal so viel für den eigentlichen Bau dieser *Docks* ausgegeben wurde. Unter andere Merkwürdigkeiten, welche der Bau darbot, gehörte auch die Anwendung gusseiserner Piloten, welche mittelst angegossener Ränder fest in einander griffen und in das dortige Sandsteingrundbette mit dem besten Erfolge eingetrieben wurden.

§. 358.

An dem weiten Bette der *Mersey* befindet sich aufwärts von *Liverpool* eine Bucht, welche *Port Ellesmere* genannt wird, und der Eingang des merkwürdigen Kanales von *Ellesmere* und *Chester* ist. Dieser Kanal hat mit den Seitenarmen eine Länge von 109 engl. Meilen, und wird unter die kühnsten Bauunternehmungen in England gezählt. Es werden auf demselben alle Arten Güter und Waaren geführt, und er wurde vorzüglich zu diesem Behufe, und nicht wegen des Transportes der Steinkohlen, worauf die meisten andern Kanäle berechnet sind, erbaut. Als vorzügliche Bauwerke werden die Brückenwasserleitungen von *Chirk* und *Cysylte* angesehen. Die erste hiervon ist beiläufig 200 *Yards* lang und besteht aus 10 gewölbten Bögen von 50 Fuss Spannung; der Fluss *Ceriog*, über welchen der Kanal geführt ist, liegt 65 Fuss tiefer.

Die Brückenwasserleitung von *Cysylte* wird als die merkwürdigste von allen in England bestehenden angesehen, und ist bereits in den Werken von *Dupin*, *Dutens* und *Cordier* beschrieben worden. Wir haben dieselbe auf der Tafel Nr. 68 Tab.
dargestellt, um unseren Lesern das Vergnügen zu gewähren, welches selbst nur das 68.
Bild eines so kühnen Baues verursachen muss. Möchte doch ein jeder derselben diesen Bau an Ort und Stelle sehen können, um einen richtigen Begriff von dem zu erhalten, was brittischer Unternehmungsgeist und Beharrlichkeit vermag! — Der Bau dieser Wasserleitung wurde vom Herrn *Telford*, dessen kühnen Geist wir schon aus der *Menai*kettenbrücke kennen, im Jahre 1795 unternommen; sie führt den Kanal über das tiefe Thal des Flusses *Dee* in der Nähe von *Llangollen* und besteht aus 18 Pfeilern und 2 gemauerten Landwiderlagen, worauf 19 Bogen von Gusseisen ruhen, die das aus gehämmerten und gut verbundenen Eisenplatten verfertigte Gerinne des Kanales tragen. Nach *Cordier* ist die Länge des gusseisernen Kanalgerinnes 306 *met.* und die Länge der anstossenden Dammanschüttungen 457 *met.*, zusammen 763 *met.* (2414 N. Oe. Fuss), die Höhe des eisernen Gerinnbodens des Kanales über den Fluss *Dee* 38,4 *met.* (121 N. Oe. Fuss), die Breite des Kanales in dem gusseisernen Gerinne 2,38 *met.* (7,53 N. Oe. Fuss), und die Höhe der eisernen Kästen, in welchen das Wasser fortfliesst 1,6 *met.* (5,06 N. Oe. Fuss). Der Bau dauerte vom J. 1795 bis 1805 und kostete 54000 *Liv. st.* oder über eine halbe Million Conv. Gulden.

Der Kanal von *Ellesmere* konnte bei so bedeutenden Bauten den Akzionärs wohl nicht den Nutzen leisten, welcher bei minderer Schwierigkeit der Lokalität entstanden

wäre. In den letztern Jahren betrug die Dividende 3 *Liv.* 15 *sh.* auf eine Akzie, die mit 133 *Liv.* eingezahlt wurde, und diess ist abermals nur wieder der äusserst zweckmässigen gesellschaftlichen Leitung der Unternehmung zuzuschreiben. Nach dem Berichte, welcher der Generalversammlung der Akzionäre am 6. August 1829 vorgelegt wurde, war die Einnahme in dem verflossenen Jahre, welches hier immer bis zum 30. Juni gezählt wird, 25901 *Liv.* 1 *sh.* 4 *d.*, wovon eine Dividendenzahlung mit 13409 *Liv.* 1 *sh.* 3 *d.* Statt hatte, der Uiberrest aber theils zu neuen Bauten, zur Unterhaltung des ganzen Kanals und einer zugehörigen Eisenbahnstrecke, und zur Bezahlung der Regie, die im Ganzen nur 400 *Liv.* kostete, verwendet, theils aber als Reservefond zurückbehalten wurde.

Der Kanal von *Shropshire* wurde vorzüglich zum Behufe des Steinkohlentransportes angelegt; er ist 7½ Meilen lang und es befinden sich dabei drei schiefe Flächen. Die zwei ersten sind derjenigen ähnlich, welche sich am Kanale des Herzogs von *Bridgewater* befindet und wovon wir bereits gesprochen haben; bei der dritten schiefen Fläche ist aber ein Gegengefäll vorhanden, oder sie fällt herab und steigt dann etwas hinauf, damit die Schiffe wieder in den höhern Theil des Kanals gelangen. Die erste schiefe Fläche ist 320 *Yards* lang und 120 Fuss hoch, die zweite ist 600 *Yards* lang und 126 Fuss hoch, die dritte ist 350 *Yards* lang und 207 Fuss hoch, die hiermit in Verbindung stehende wieder aufsteigende schiefe Fläche hat 30 Fuss Höhe. Die Bewegung der Schiffe über diese schiefen Flächen wird durch eine Dampfmaschine von 6 Pferdekräften unterstützt. Dieser Kanal, wobei die Baukosten verhältnissmässig gering waren, indem man alle schwierigen Bauobjekte vermied, verzinset sich nach der Tabelle Seite 509 gut.

Der Kanal von *Shrewsbury* dient zum Steinkohlentransporte in die Stadt gleichen Namens. Auch hierbei ist eine schiefe Fläche von 223 *Yards* Länge und 75 Fuss Höhe angelegt, auf welcher die beladenen Boote mittelst Eisenbahnwägen, worauf sie auffahren, herabgehen und zu gleicher Zeit andere leere Boote hinaufziehen. Der Kanal geht mittelst einer Brückenwasserleitung von Eisen über den Fluss *Tern*; dieselbe wurde im Jahre 1796 erbaut und ist die erste Ausführung dieser Art in England.

Der Kanal von *Ketley* steht mit dem Kanal von *Shropshire* in Verbindung, und hierbei befindet sich wieder die erste schiefe Fläche von 223 *Yards* Länge und 73 Fuss Höhe, welche in England und zwar im Jahre 1788 erbaut wurde. Die Wägen, auf welche die Kanalschiffe auffahren, haben hier wie bei den andern schiefen Flächen dieser Art ungleich hohe Räder, damit ihre obere Fläche, auf welcher das Boot ruht, bei dem Herabfahren horizontal liegt. Die Boote haben 20 Fuss Länge, 6 Fuss 4 Zoll Breite, 3 Fuss 10 Zoll Tiefe und laden 8 Tonnen; ein beladenes Boot, welches hinabgeht, kann ein anderes mit dem dritten Theile von 8 Tonnen Ladung zu gleicher Zeit hinaufziehen.

Der Kanal von *Trent* und *Mersey* wurde im Jahre 1765 unter der Leitung des Ingenieurs *Brindley* angefangen; da von demselben viele andere Kanäle nach *Liverpool*, *Hull*, *Bristol* und *London* ausgehen, so pflegt man ihn auch den *Grand-Trunk*kanal (Grosstammkanal) zu nennen. Dieser Kanal hat von *Preston Broock* am Kanale des Herzogs von *Bridgewater*, wodurch er mit *Liverpool* und *Manchester* zusammenhängt, bis

zur Einmündung in den Fluss *Trent* 93 Meilen, worin 75 Schleussen vorkommen; die Seitenarme, welche hierzu gehören, haben noch 37 Meilen Länge. Bei diesem Kanale sind 4 unterirdische Stollen erbaut, wovon jener von *Harecastle* am Scheidungspunkte des Kanals gelegen ist und der erste in dieser Grösse in England erbaut wurde; er ist 2888 *Yards* lang, 9 Fuss breit und 12 Fuss hoch, mit Ziegeln gewölbt und bildet einen halben Kreisbogen, der von der Oberfläche des Wassers anfängt, hat aber keinen Weg für die Pferde (Treppelweg) zum Schiffszug. Wenn die Boote durch den Kanal gehen, befinden sich in jedem derselben zwei Führer, welche auf dem Rücken liegen, mit ihren Füssen gegen das Gemäuer stossen und so die Schiffe fortbringen. Da der Kanal sehr häufig befahren wird, so gehen zuweilen mehrere hundert Schiffe in einer Linie hinter einander; früh gehen jene gegen *London* zu durch den Stollen, und nachmittag wird der Stollen in entgegengesetzter Richtung von den Schiffen befahren, die von *London* nach *Liverpool* gehen. Die ausserordentliche Zunahme des Verkehres auf dem Kanale und die Aufenthalte, welche die Schiffe in diesem, von *Brindley* erbauten Stollen erfuhren, veranlasste die Akziengesellschaft den Stollen im Jahre 1825 unter der Leitung des Herrn *Telford* neu bauen zu lassen. Der ganze Stollen wurde von einem Ende zum andern mit einem elyptischen, aus Ziegeln hergestellten Bogen von 18 Zoll Stärke gewölbt; dieser Bogen stützte sich aber auf einen zweiten flachen gestürzten Bogen (*Reversed arch*) von gleicher Stärke, welcher letztere den Boden des Kanales bildet. In diesem Gewölbe wurde erst das Mauerwerk hergestellt, welches den Treppelweg für das Pferd bildet; dieser Weg wurde mit einem eisernen Geländer versehen, über welches das Zugseil reicht. Das Mauerwerk, dessen Oberfläche den Treppelweg bildet, ist nicht massiv, sondern besteht aus Pfeilern und Bögen. Die Breite des ganzen Gewölbes im Lichten ist 14 Fuss, der Treppelweg 4 Fuss, demnach der Wasserspiegel 10 Fuss; die Höhe des Gewölbes beträgt 15 Fuss. Der ganze Stollen ist $1\frac{3}{4}$ Meilen lang und wurde 65 *Yards* unter dem höchsten Punkte des Berges, welchen er durchschneidet, angelegt; zum Behufe des Baues wurden 15 Schachte von 8 Fuss Durchmesser und mehrere kleinere Luftschachte abgesenkt. Die bei diesem Baue wichtige Gerüstung bestund aus hölzernen genau angefertigten Gerüstbalken, welche durch Schraubenbolzen angezogen, mit Bretern eingedeckt und hierauf das Ziegelgewölbe aufgesetzt wurde. Der Schluss dieses Gewölbes erfolgt von oben, sodann füllten die Arbeiter den über dem Gewölbe befindlichen leeren Raum mit Bruchsteinen aus und schritten so mit der Arbeit immer weiter, bis endlich bei dem Schlusse zweier Strecken eine Oeffnung von 18 Zoll Durchmesser übrig blieb, die von unten geschlossen wurde. Die Darstellung einer ähnlichen Gerüstung, die bei dem Stollen des *Themse* und *Medway* Kanals gebraucht wurde, enthält Fig. 6 bis 9, Tab. 67, wovon Seite 522 gesprochen wird.

In den übrigen Strecken ist der Kanal 35 bis 40, an andern Orten aber wieder 25 bis 30 Fuss an der Oberfläche des Wassers breit und hat $5\frac{1}{2}$ bis $4\frac{1}{2}$ Fuss Wassertiefe. Die Schleussen sind sämmtlich 80 Fuss lang, einige 12 Fuss, andere aber nur 7 Fuss breit; die Schiffe, welche den Kanal befahren, sind 70 bis 80 Fuss lang, 7 Fuss breit, und laden 25 bis 30 Tonnen; die Schleussen nehmen demnach entweder ein oder zwei Schiffe zu gleicher Zeit auf. Fig. 1 und 2, Tab. 67 enthalten die Längenansicht und den Querdurchschnitt eines Schiffes, welches auf dem *Grand Trunk* Kanale gebraucht

Fig. 1 und 2. Tab. 67.

wird. Dieselben Schiffe sind auch auf den *Birmingham* und *Worcester* Kanälen im Gebrauche; sie laden bis zu 30 Tonnen; das Zugseil wird etwas über der Mitte des Schiffes angebracht und das Schiff gewöhnlich von zwei Menschen begleitet. Da auf diesem Kanal eine sehr bedeutende Fracht Statt findet, so sind die Erträgnisse auch so bedeutend, dass noch im Jahre 1829 auf jede Viertelakzie, welche mit 100 *Liv.* eingezahlt wurde, eine jährliche Dividende von 37 *Liv.* 10 *sh.* ausfiel, wornach auch der Preis einer solchen Viertelakzie 790 *Liv.* war.

Fig. 3 bis 5. Tab. 67. Fig. 3, 4 und 5 derselben Tabelle stellen die Schiffe dar, welche bei der *Mersey* und *Irwell* Kanalschiffahrt gebraucht werden. Dieselben sind 60 Fuss lang und höchstens 12 Fuss breit; sie passen daher in die Schleussen, welche 65 Fuss lang und 13 Fuss breit sind. Diese Schiffe gehen 5 Fuss tief im Wasser, laden 60 Tonnen und werden durch gespannte Segel bewegt; die Bauart derselben gestattet es, dass sie auch auf andern Flüssen und selbst an den Meeresküsten ihre Fahrt fortsetzen können. Es gewährt übrigens ein interessantes Schauspiel, ein Kanalschiff mit so grossen Segeln auf den verhältnissmässig sehr schmalen Kanälen durch die geschickte Regierung der Segel in jeder Richtung genau nach den Krümmungen des Kanales seinen Weg schnell fortsetzen zu sehen.

Merkwürdig ist der Kanal von *Erewash*, welcher parallel mit dem Flusse *Erewash* fortläuft, und zum Transporte der Steinkohlen dient. Die geringen Baukosten dieses Kanales, welche durch 231 Akzien zu 100 *Liv.* gedeckt wurden, sind im Vergleiche zu der bedeutenden Einnahme so gering, dass die jährliche Dividende auf jede Akzie 70 *Liv.* beträgt und der Preis einer Akzie von 100 auf 1500 gestiegen ist.

§. 359.

Der Kanal von *Leeds* und *Liverpool* gehört unter die ausgedehntesten Unternehmungen in England, welche nicht bloss für den Transport von Steinkohlen, sondern auch für jenen von Kaufmannsgütern berechnet sind. Dieser Kanal eröffnet mit Hilfe des Flusses *Aire*, welcher unterhalb *Leeds* schiffbar ist, eine Wasserkommunikazion zwischen *Hull* und *Liverpool* oder zwischen der Nordsee und dem Irländischen Meere. Im Dezember 1768 wurde der Plan zur Ausführung des Kanales vorgelegt und die Baukosten auf 259777 *Liv. st.* angeschlagen. Man berechnete damals 5 Prozent jährliche Zinsen mit 13000 *Liv.*, die Unterhaltungs- und Regiekosten auf 4000 *Liv.*, demnach die ganzen jährlichen Kosten auf 17000 *Liv.* Dagegen wurde die Zolleinnahme von Kalk und Steinen mit $\frac{1}{2}$ *d.* für die Tonne und die Meile auf 8500 *Liv.*, von Steinkohlen mit 1 *d.* per Tonne und Meile auf 3500 *Liv.* und von Metallen und Kaufmannsgütern mit $1\frac{1}{2}$ *d.* per Tonne und Meile auf 8000 *Liv.*, demnach zusammen die jährliche Einnahme auf 20000 *Liv.* angeschlagen. Die Gesellschaft bildete sich später, unterzeichnete 2600 Akzien zu 100 *Liv.* und der Bau wurde im Jahre 1777 begonnen. Die Länge der Hauptlinie des Kanals beträgt 128 engl. Meilen, wovon auf die Strecke in *Yorkshire* 80 Meilen und auf jene auf in *Lancashire* 48 Meilen fallen. Der Kanal steigt von dem Flusse *Aire* in *Leeds* mittelst 44 Schleussen auf 409,5 Fuss Höhe und senkt sich vom Scheidungspunkte mittelst 47 Schleussen 431 Fuss tief bis zu einem in *Liverpool* angelegten Wasserbehälter; dieser letztere liegt noch 52 Fuss über die Oberfläche des Flusses *Mersey* bei niedrigem Wasserstande. Die Breite des Ka-

nals beträgt an der Wasseroberfläche 42 Fuss, die Wassertiefe 5 Fuss; die Schleussen sind 70 Fuss lang und 15,5 Fuss breit; die Schiffe laden 50 bis 60 Tonnen.

Mit dem Kanale steht noch die *Douglas Navigation* in Verbindung, welche durch die Regulirung des Flusses und Anlage einer kleinen Kanalstrecke bewirkt wurde; ingleichem wurde noch ein Nebenarm des Kanales, *Leigh Line* angelegt und diess Ganze bildet nun eine Unternehmung, welche auf 2897³/₄ Akzien beruht, die mit 100 *Liv.* eingezahlt wurden und nach der Tabelle Seite 509 im Jahre 1829 den Kours von 470 *Liv.* hatten, indem die jährliche Dividende jeder Akzie mit 18 *Liv.* ausfiel. Nebstdem hat aber die Gesellschaft noch einige Darlehen gemacht. Der nachstehende an die Akzionärs vertheilte und in Druck erschienene Ausweis über die Erträgnisse und Auslagen dieser grossen Unternehmung für die Zeit vom 1ten Jänner 1827 bis 1ten Jänner 1828 mag abermals als Belege dienen, welcher ungeheuere Verkehr auf den englischen Kanälen Statt findet.

Einkommen im Jahre 1827.

		Tonnen	£.	sh.	d.	£.	sh.	d.
*Yorkshire*strecke.	Kaufmannsgüter	110350	23128	4	5			
	Steinkohlen	90770¹/₂	4864	10	0			
	Kalksteine	91655	3199	1	9			
	Kalk und Dünger	4566³/₄	114	4	3			
	Steine, Ziegeln etc.	88419¹/₄	3920	10	5	35226	10	10
*Lancashire*strecke.	Kaufmannsgüter	125782¹/₂	18383	0	6			
	Steinkohlen	260517³/₄	30572	12	8¹/₄			
	Kalk und Dünger	72058³/₄	1330	19	0			
	Steine, Ziegeln, etc.	27891¹/₂	2285	4	1	52571	16	3¹/₄
Douglas Navigation.	Kaufmannsgüter	109862³/₄	4909	14	1¹/₂			
	Steinkohlen nach *Liverpool*	260517³/₄	986	5	2¹/₄			
	„ „ *Tarleton*	39316	3115	19	8			
	Kalk und Dünger	4419³/₄	147	4	1			
	Steine und Ziegeln	28783¹/₂	1073	15	4	10232	18	4³/₄
Leigh Kanallinie.	Kaufmannsgüter	31742¹/₂	1382	13	10			
	Steinkohlen	12616¹/₂	285	1	11			
	Kalksteine	186	1	1	0			
	Kalk und Dünger	616¹/₂	3	15	10¹/₂			
	Steine, Ziegeln, etc.	3600	360	6	4	2032	18	11¹/₂
Einnahme für Renten, Passagiersboote						6925	1	8
					Brutto-Einnahme £	106989	6	1¹/₂

Auslagen im Jahre 1827.

		£.	sh.	d.	£.	sh.	d.
*Yorkshire*strecke.	Reparaturen	5704	12	11¹/₂			
	Entschädigungen, Taxen etc.	899	19	4¹/₄			
	Gehalte und andere Auslagen	2055	13	5	8660	5	8³/₄
	Fürtrag				8660	5	8³/₄

		£. sh. d.	£. sh. d.
Uibertrag		8660 5 $8\frac{3}{4}$	
*Lancashire*strecke. Reparaturen	5376 16 3		
Entschädigungen, Taxen etc.	1032 5 4		
Gehalte und andere Auslagen	1539 10 11	7948 12 6	
Douglas Navigation. Reparaturen	2506 10 9		
Entschädigungen, Taxen .	233 15 4		
Gehalte und andere Auslagen	571 8 0	3311 14 1	
Leigh Kanallinie. Reparaturen	435 6 9		
Entschädigungen, Taxen . .	154 16 11		
Gehalte und andere Auslagen .	119 18 8	710 2 4	
Committee und andere Auslagen, welche die ganze Unternehmung betreffen		1798 6 1	22429 0 $8\frac{3}{4}$

Nach Abzug von der Brutto-Einnahme bleibt daher die Netto-Einnahme £ 84560 5 $4\frac{3}{4}$ welche auf folgende Art verwendet wurde:

An Dividenden wurde gezahlt	46083 6 10	
Interessen der aufgenommenen Darlehen	21940 11 3	
Neue Bauten in der *Yorkshire*strecke, als: Magazine, Grundeinkauf und Vergrösserung eines *Reservoirs* . . .	4829 12 $5\frac{1}{2}$	
Neue Bauten in der *Lancashire*strecke als: Ein Magazin, zwei Bassins und Grundeinkauf	3244 16 $11\frac{1}{2}$	76098 7 6

Mehrbetrag der Einnahme £ 8461 17 $10\frac{3}{4}$

Aus diesem Ausweise ersieht man, dass die Kaufmannsgüter, welche auf dem Kanale geführt wurden, in jeder der drei ersten Strecken mehr als zwei Millionen Zentner jährlich, die Steinkohlen aber, welche nach *Liverpool* gingen, über 5 Millionen Zentner, endlich der ganze Verkehr in der *Lancashire*strecke $486250\frac{1}{2}$ Tonnen oder beinahe *zehn Millionen Zentner in einem Jahre* betrug. Die Einnahme für Zollgebühren, welche man bei dem Projekte des Kanals im Jahre 1768 auf 20000 *Liv.* veranschlagte, betrug im Jahre 1827 106989 *Liv.* 6 *sh.* $1\frac{1}{2}$ *d.* oder mehr als fünfmal so viel! — Glückliches Land, wo ein so lebhafter Verkehr, eine Regsamkeit ohne Gleichen, eine Thätigkeit, die Bewunderung erregen muss, Statt findet. Wie sehr weichen doch die Transporte, welche selbst auf den lebhaftesten Punkten in Deutschland vorhanden sind, hiervon ab.

Die Fracht auf dem 128 engl. Meilen (27,1 N. Oe. Meilen) langen Kanale mit seinen 91 Schleussen dauert von *Leeds* nach *Liverpool* $3\frac{1}{2}$ bis 4 Tage und eben so viel zurück, es werden daher im Durchschnitte täglich 34,1 engl. Meilen (7,2 N. Oe. Meilen) mit dem Pferdezuge zurückgelegt. Die Frachtpreise, welche den Fuhrleuten für diese ganze Strecke gezahlt werden, sind folgende:

Für 1 Tonne Kaufmannsgüter (Tücher u. dgl.) 2 *Liv. st.*, es sey nun von *Leeds* nach *Liverpool* oder zurück, für eine Tonne Eisen werden aber nur 32 *sh.* gezahlt. Die Berechnung stellt sich nun auf folgende Art:

Die Tonnengebühr (*tonnage*), welche der Frächter an die Akziengesellschaft für Kaufmannsgüter zu entrichten hat, beträgt für die Tonne und die Meile $1\frac{1}{2}$ d., demnach für 128 Meilen . 16 *sh.*

Demnach bleibt ein Lohn für den Pferdezug (*haulage*) und das gebrauchte Kanalschiff von $2\frac{1}{4}$ *d.* per Tonne und Meile 24 „

Zusammen . . . 40 *sh.*

Bei Eisen wird an die Akziengesellschaft ebenfalls $1\frac{1}{2}$ d. für die Tonne und die Meile als Gebühr entrichtet, oder für 128 Meilen 16 *sh.*

Also bleibt für den Pferdezug und die Schiffsmiethe $1\frac{1}{2}$ d. per Tonne und Meile . 16 „

Zusammen . . . 32 *sh.*

Wird der letztere Betrag von $1\frac{1}{2}$ *d.* für die Tonne und engl. Meile auf N. Oe. Maass und Gewicht reduzirt, so ergeben sich die Kosten des Pferdezuges und des Schiffes für 1 N. Oe. Zentner die N. Oe. Meile weit mit 0,975 Kreuzer Conv. Münze. Wir haben im I. Bande Seite 617 angeführt, dass die Fuhrleute auf der *Darlington* Eisenbahn für die Tonne und die engl. Meile $\frac{1}{2}$ *d.* als Frachtlohn erhalten, und dass die Beischaffung des Wagens auf derselben Bahn ebenfalls für die Tonne und die Meile um $\frac{1}{8}$ *d.* (Seite 616) verpachtet wurde, wornach also der Pferdezug und Wagen für die Tonne und die Meile $\frac{5}{8}$ *d.* beträgt. Da die Neigung der *Darlington* Eisenbahn mit jener bei dem Kanale zwischen *Leeds* und *Liverpool* beinahe übereinstimmt, so ergibt sich, dass die Frachtkosten auf dem Kanale mehr als das Doppelte von jenen auf der Eisenbahn betragen. Dieses auffallende Resultat findet sich auch bei andern Kanälen in England bestättiget, wobei ebenfalls die Frachtkosten weit mehr als auf Eisenbahnen unter gleichen Verhältnissen betragen.

§. 360.

Der Kanal der *Themse* und des Flusses *Medway* (*Thames and Medway canal*) verbindet diese zwei Flüsse mitsammen und läuft in seiner ganzen Länge von $8\frac{1}{2}$ engl. Meilen mit gleichem *Niveau* fort. Bei *Frindsbury*, wo der Kanal an der Themse anfängt, ist eine Ebbe- und Fluth - Schleusse (*Tide Lock*), deren Thore zur Zeit der hohen Fluth geöffnet werden, um den Kanal mit Wasser zu speisen. Die Bauart dieser Schleusse, welche gusseiserne Thore wie die Schleussen am *Caledonischen Canal* hat, ist besonders interessant und erscheint auf der 66. Tafel, Fig. 3 bis 5 dargestellt. Die Eck- und mittlern Säulen, so wie die Querriegel an diesen Thoren sind hohl gegossen, 18zöllig, jedoch nur $1\frac{1}{2}$ Zoll dick im Eisen; dadurch haben die Thore eine bedeutende Festigkeit und verhältnissmässig kein gar zu grosses Gewicht; da sie jedoch noch immer nicht wie andere Schleussenthore von einem oder zwei Menschen geöffnet oder geschlossen werden könnten, so sind an diesen Thoren Zugketten befestigt, welche, wie der Durchschnitt zeigt, sich an der ebenfalls eisernen Welle eines Kabestan oder Gangspille aufwinden. Die Umdrehung dieses Kabestans erfolgt mittelst eiserner Hebel, welche in dessen Kopf eingesetzt und von einigen Menschen bewegt werden. Uibrigens gewähren solche gusseiserne Thore zwar sehr viel Festigkeit und kommen in England nicht theuerer als hölzerne Thoer zu stehen, wo sie aber häufig mit dem gesalzenen Seewasser in Berührung kommen, werden sie nach einigen Jahren von diesem Wasser zerfressen, - poros und

Fig. 3 bis 5. Tab. 66.

müssen daher wieder ersetzt werden. Dieselbe wichtige Bemerkung hat man auch an andern Orten in England gemacht. Der *Civil-Ingenieur Stevenson* in *Edinburgh*, Erbauer des Leuchtthurmes auf *Bellrock*, versicherte den Herausgeber dieses, dass Gusseisen, welches bei mehreren am Gestade des Meeres vorgenommenen Bauten verwendet wurde, nach einigen Jahren so poros war, dass hiervon Stücke wie von Holz mit einem guten Federmesser abgeschnitten werden konnten, demnach man auch genöthigt war, Schmiedeisen, Holz oder Steine an die Stelle des früher gebrauchten Gusseisens anzuwenden.

Die Schleussenthore der genannten Ebbe und Fluthschleusse bewegen sich, wie der Fig. 3 bis 5. Tab. 66. Grundriss zeigt, auf Eisenbahnen und sind nicht gerade, sondern gegen die Seite des darauf drückenden Wassers, also hier gegen den Fluss *Medway* bogenförmig gekrümmt. Der Boden der Schleussenkammer besteht aus einem gestürzten oder umgekehrten Gewölbbogen (*reversed or inverted arch*), welches überhaupt die Bauart ist, wornach man in England alle Mauern, die einen grossen Druck des Wassers auszuhalten haben, ausführt. Fig. 6. Die Fig. 6 stellt den Querdurchschnitt einer solchen aus Quadersteinen aufgeführten Mauer an einem *Bassin* von 33 Fuss Tiefe vor, und zeigt, wie der gestürzte Bogen angelegt wird. Die Quadersteine, welche denselben bilden, haben abwechselnd 4 bis 6 Fuss Tiefe und mindestens 2 Fuss Höhe; die Decksteine an der Kappe des Mauerwerks sind 8 Fuss tief und 2½ Fuss hoch; die Erde hinter dem Quadersteinmauerwerk wird schichtenförmig angeführt und gut gestampft.

Bei dem *Themse* und *Medway* Kanale wurde ein Stollen angelegt, dessen Gerüstung Fig. 6 bis 9. Tab. 67. auf eine vorzügliche Art konstruirt und Fig. 6 bis 9, Tab. 67 dargestellt ist. Hiervon ist Fig. 6 die vordere Ansicht, Fig. 7 der mittlere Theil, Fig. 8 ein Seitentheil und Fig. 9 ein Stück des letztern; Fig. 7 bis 9 ist im doppelten Maasstabe. Bei diesem Gerüste kommen keine Zapfen vor und die Streben werden in Kapseln oder G e h ä u s e von G u s s e i s e n eingesetzt, welche man an dieselben und an die nächsten Balken mit Schrauben befestigt. Bei dieser Konstrukzion wird das Setzen des Gerüstes ganz beseitigt und man kann auch schwächeres Holz verwenden, als es bei der gewöhnlichen durch Vezapfung verbundenen Gerüstung erfordert wird.

Der K a n a l v o n *O x f o r d* hat eine Länge von 91½ Meilen; sein Bau wurde im Jahre 1769 begonnen, später durch mehrere Jahre wegen Mangel an Geld unterbrochen, im Jahre 1786 aber wieder fortgesetzt und endlich die Schiffahrt im Jahre 1790 eröffnet. Auf diesem Kanale steigt man von *Oxford* aus 195⅓ Fuss mittelst 30 Schleussen und fällt 74¼ Fuss mittelst 12 Schleussen bis zum Kanal von *Coventry*. Zwei unterirdische Strecken, wovon eine bei *Fenny-Compton* von 1188 *Yards* Länge, und eine bedeutende Anzahl Brücken, so wie mehrere Brückenwasserleitungen von bedeutender Grösse kommen bei diesem Kanale vor. Die Brückenwasserleitung von *Peddlars Bridge* hat 12 Bogen von 22 Fuss Spannung; endlich sind hierbei mehrere Dampfmaschinen aufgestellt, welche das Wasser, woran dieser Kanal zuweilen Mangel leidet, auf die höhern Punkte zurückführen. Der Bau dieses Kanales wurde durch 330000 *Liv. st.*, welche durch Akzien eingezahlt wurden und dann durch einige Darlehen gedeckt. Die Akzien zu 100 *Liv.*, welche bald nach Beginnen des Baues im Preise so bedeutend herabfielen, dass man keine weitern Fonds aufzubringen wusste und den Bau zu unterbrechen genöthigt war, stehen gegenwärtig auf 670 *Liv. st.*

Zu den kostspieligsten Kanalunternehmungen in England gehört auch der *Grand Junction*-Kanal. Derselbe fängt bei *Brendford* an der *Themse* an und verbindet sich bei *Braunston* mit dem Kanal von *Oxford*; in seiner Länge von 93 Meilen kommen 101 Schleussen vor; seine mittlere Breite ist 36 Fuss an der Wasseroberfläche, 24 Fuss am Grundbette und die Tiefe 4,5 Fuss. Die Schleussen haben 86 Fuss Länge, 15 Fuss Breite und gewöhnlich 7 Fuss Fall. Da der Kanal zwei Gebirgsketten übersetzt, so hat derselbe auch zwei Scheidungspunkte. Hierbei sind auch drei unterirdische Strecken angelegt, wovon jene bei *Blisworth* später angelegt wurde, da man früher das Gebirge daselbst mit schiefen Flächen übersetzte. Ein grosser Damm von 1¼ Meilen Länge und 30 Fuss Höhe wurde zwischen *Wolverton* und *Cosgrave* angelegt. Mehrere sehr grosse *Reservoirs* führen das Wasser den höhern Punkten des Kanales zu. Der Kanal hat nebst der Hauptlinie noch 7 Seitenarme, wovon jener, welcher unter dem Namen des Kanales von *Paddington* bekannt ist, die grösste Länge misst. Auf den Schiffen, welche den *Grand Junction*-Kanal befahren, werden Waaren und Gegenstände aller Art, dann auch Reisende in sehr gut eingerichteten Paquetbooten, welche Tag und Nacht gehen, befördert. Eine so grosse und ausgedehnte Unternehmung erforderte auch bedeutende Geldkräfte. Ausser dem ersten Unternehmungskapital, welches durch 11600 Akzien, jede zu 100 *Liv.* eingezahlt wurde, hat die Gesellschaft noch bedeutende Darlehen gemacht, so dass die ganze Auslage wenigstens 2 Millionen *Liv. st.* betragen kann. Dagegen war die Brutto Einnahme im Jahre 1818 schon über 170000 *Liv. st.* gestiegen; diese nahm seit der Zeit fortwährend zu, und im Jahre 1829 war der Preis einer Akzie 295 *Liv.*, auf welche in den letzten Jahren immer eine Dividende von 13 *Liv.* ausfiel. Von diesem Kanale und den reitzenden Umgebungen, welche er durchströmt, ist eine pittoreske Beschreibung von *J. Hassel* unter dem Titel: *Tour on the Grand Junction, illustrated with a series of Engravings, London* 1819 erschienen.

Von dem *Monmouthshire*-Kanale und den hiermit in Verbindung stehenden Eisenbahnen haben wir bereits §. 575 des I. Bandes eine Beschreibung, welcher der Verkehr und die Erträgnisse dieser Unternehmung für die letzten drei Jahre beigefügt war, geliefert und müssen uns daher zur Vermeidung von Wiederholungen hierauf beziehen. Dieser Kanal stellt in der That eine sehr weit verzweigte, zweckmässig angelegte Schiffahrtslinie, die durch Eisenbahnen ergänzt wird, dar, und gehört unter die gelungensten Unternehmungen dieser Art in England.

§. 361.

Um eine Verbindung zwischen *Bristol* und *London* herzustellen und den gefährlichen und langen Seeweg bei Kriegen oder stürmischem Wetter zu vermeiden, wurde der *Kennet* und *Avon*kanal angelegt. Die Unternehmung beruht auf 25328 Akzien, auf deren jede 39 *Liv.* 18 *sh.* 10 *d.* eingezahlt wurde, und besteht dermalen nicht bloss aus dem Kanale und dem schiffbar gemachten Flusse *Kennet*, sondern auch in der, von der Gesellschaft erworbenen Schiffbarmachung des Flusses *Avon*. Die Fahrt von *Bristol* nach *London* findet daher auf folgende Art Statt:

	engl. Meilen	Schleussen
I. Von *Bristol* nach *Bath* am Flusse *Avon*, welcher von einer andern Gesellschaft durch Anlegung von Schleussen kanalförmig hergestellt wurde, und dessen Eigenthum gegenwärtig an die Kanalgesellschaft überging; in dieser Strecke sind	$18\frac{1}{2}$	7
II. Von *Bath* am *Kennet* und *Avon* Kanal hinauf bis zum Scheidungspunkt sind 44 Schleussen, von dort hinab bis *Newbury* sind 35, demnach zusammen 79 Schleussen	57	79
III. Von *Newbury* am Flusse *Kennet* bis zur Einmündung desselben in die Themse bei *Reading*	$17\frac{1}{2}$	19
IV. Von *Reading* die Themse herab bis *London* sind	77	18
Zusammen	170	123

In dieser Strecke war die Schiffbarmachung des Flusses *Avon* früher eine abgesonderte Unternehmung, die durch 32 Akzien begründet wurde. Der Preis einer solchen Akzie stieg schnell bis zu 1800 *Liv.* und in den letztern Jahren selbst bis auf 5000 *Liv.* Die *Kennet* und *Avon* Kanalgesellschaft kaufte zuerst 28 Akzien und dann die letzten 4 Akzien an sich, für welche laut dem Berichte an die Generalversammlung der Akzionärs vom 21. Juli 1829 der Betrag von 18000 *Liv.* gezahlt wurde. Hiermit überging die Schiffbarmachung des Flusses *Avon* sammt allen zugehörigen Bauten und dem Rechte von jedem Schiffe eine bestimmte Tonnengebühr zu fordern, an die *Kennet* und *Avon* Kanalgesellschaft. Bei dem Kanale selbst ist in technischer Hinsicht die Strecke bei *Devizes*, in welcher 29 zunächst aneinander liegende Schleussen (*Fox Hanger Locks*) über einen Berg führen, vorzüglich merkwürdig.

Die ganze obengenannte Strecke von 170 engl. Meilen (36 N. Oe. Meilen) mit 123 Schleussen wird von den Schiffen, welche hier bis zu 60 Tonnen Ladung nehmen, in 4 bis 5 Tagen zurückgelegt, jedoch wird nur bei Tage gefahren. Ein jedes Schiff hat 2 Schiffleute und einen Knaben zur Bedienung und wird von 2, 3 oder auch 4 Pferden, je nach dem Wasserstande, der hier sehr verschieden ist, fortgezogen. Gewöhnlich gehen dieselben Pferde mit einem Kanalschiffe bis *London* und kehren mit demselben wieder zurück. Nehmen wir im Durchschnitte eine Fahrt von $4\frac{1}{2}$ Tagen, Ladung von 60 Tonnen und 3 Zugpferde an, so ergibt sich, dass ein Pferd in einem Tage 20 Tonnen Ladung 37,8 engl. Meilen weit, oder 363 N. Oe. Zentner Ladung 8 N. Oe. Meilen weit fortzieht. Schlägt man das Gewicht des Kanalschiffes zu 300 N. Oe. Zentner an, so entfallen 463 N. Oe. Zentner an Ladung und Schiff auf ein Pferd, womit der Weg von 8 N. Oe. Meilen in einem Tage zurückgelegt wird.

Gegenwärtig bezahlt man den Frächtern für den Transport einer Tonne Eisen von *Bristol* bis *London* nur 21 sh. Von dieser Summe beträgt die Tonnengebühr, welche an die Akziengesellschaft entrichtet wird:

1. Am Flusse *Avon* von *Bristol* bis *Bath* für die Tonne Eisen	1 *sh.*	— 6 *d.*	
2. Am *Kennet* und *Avon*-Kanal und am Flusse *Kennet*	5 „	— 0 „	
3. Auf der *Themse* .	2 „	— 2 „	
4. Die Stadt *London* erhebt an Schiffahrtsgebühr für die Tonne Eisen .	1 „	— 3 „	
Zusammen	9 *sh.*	— 11 *d.*	

Sonach bleiben für das Auf- und Abladen, das Schiff und den Pferdezug 11 *sh.* — 1 *d.*

Da diess auf eine Längenstrecke von 170 engl. Meilen entfällt, so gibt es bloss $\frac{3}{4}$ *d.* für die Tonne und die Meile. Dieser Frachtlohn ist weit geringer als jener auf dem

Leeds- und *Liverpool*-Kanal und wird nur durch die Opposizion bewirkt, welche durch die Fahrt zur See entsteht. Man zahlt nämlich als Frachtlohn von dem Hafen *Cardiff*, welcher auf der westlichen Seite der *Bristoler* Meerenge liegt, zur See bis *London* für die Tonne Eisen bloss . 10 *sh.* — —

Die Assekuranz von einem Werthe von 5 *Liv.*, womit die Tonne Eisen beiläufig angeschlagen wird, beträgt — — 3 *d.*

Die Seeschiffe können nur die *Themse* bis zur *London bridge* hinauffahren und müssen dort ihre Waaren auf kleinere Schiffe (*lighters*) umladen, welches für die Tonne eine Auslage macht von . . 1 *sh.* — 6 *d.*

Zusammen . . . 11 *sh.* — 9 *d.*

oder 12 *sh.* Da nun die Fracht auf dem Kanale über *Bath* nach dem obigen mit 21 *sh.* gezahlt wird, so bleibt bei den gegenwärtigen niedrigen Frachtpreisen noch immer ein Unterschied von 9 *sh.* bei der Tonne zu Gunsten der Seefracht, welcher bei den herabgedrückten Eisenpreisen wirklich so viel ausmacht, dass man nur zur Zeit der Seestürme und während des Winters sich der Kanalfracht bedient, bei der bessern Jahreszeit aber alles Eisen zur See nach *London* schickt. Nebst dieser bedeutenden Konkurrenz erleidet die Unternehmung des *Kennet* und *Avon*-Kanales noch den Nachtheil, dass nach dem Freibriefe der Steinkohlenhändler von *Newcastle* (*Charter of the Newcastle Coal traders*) auf keinem Kanale Steinkohlen nach *London* zugeführt werden dürfen. Hieraus erklärt sich, warum die Akzien dieser Unternehmung, welche überdiess nicht so zweckmässig verwaltet wird, als es bei andern Kanälen der Fall ist, in ihrem Preise bedeutend herabgefallen sind, wie es der Ausweis Seite 508 zeigt. Nach dem gedruckten Berichte, welchen die gesellschaftliche Direkzion über die Verwaltung für das Jahr, welches sich mit dem 29ten Mai 1829 endigte, der Generalversammlung der Akzionärs vorlegte, betrug die Zolleinnahme in diesem Jahre auf dem *Kennet* und *Avon*-Kanal und dem Flusse *Kennet* 43817 *Liv.* 19 *sh.* 0 *d.*, wozu noch die Einnahme von dem Flusse *Avon* und einige kleinere Einnahmen kamen, welche die gesammte Einnahme auf 51821 *Liv.* 19 *sh.* 1 *d.* erhöhten. Dagegen waren die Auslagen in demselben Jahre:

	£.	sh.	d.
1. Für Reparatur und Instandhaltung der 57 engl. Meilen langen Kanalstrecke sammt Schleussen, Brücken etc.	4803	11	5
2. Für Reparatur und Instandhaltung des Flusses *Avon*, 18½ Meilen	2868	8	11
3. Reparatur der Gebäude	627	18	4
4. Gehalte der Agenten, Beamten und Schleussenaufseher	3921	19	4
5. Steuern und Taxen für Grundstücke, Gebäude etc.	2447	9	1
6. Unterhaltung der Dampfmaschine zum Wasserheben am Scheidungspunkt	534	10	10
7. Kosten des Eisbrechens im Winter	214	14	8
8. Zinsen aufgenommener Darlehen und andere Auslagen	4565	2	11
9. Demnach blieb zur Vertheilung an die Akzionäre	31838	3	7
Summa wie oben	51821	19	1

Bei dieser Unternehmung ist noch zu bemerken, dass die Gesellschaft zur Vermehrung ihres Frachtquantums unter dem 13ten Februar 1828 mit dem Betrage von 10000 *Liv. st.* zur Anlage der *Avon* und *Gloucester* Eisenbahn subskribirte. Die angeführte Darstellung der ganzen Unternehmung enthält ein gutes Beispiel, wie ein Kanal mit der Schifffahrt zweier Flüsse verbunden und nicht bloss die Anlage des Kanals, sondern auch die

Schiffbarmachung (Kanalisirung) der zwei Flüsse von einer Privatgesellschaft übernommen und ausgeführt wurde.

§. 362.

Um die unsichere Schiffahrt der *Severn* und die vielen Sandbänke in derselben zu vermeiden, wurde der *Gloucester* und *Berkeley* Kanal angelegt. Die Kauffahrteischiffe, welche in *Bristol* anlangten, mussten nämlich daselbst auf kleinere Schiffe von 100 bis 150 Tonnen überladen werden, um die Waaren nach *Gloucester* zu bringen. Die Kosten und Aufenthalte, welche hierdurch entstanden, veranlassten bereits im Jahre 1793 eine Gesellschaft, sich zur Ausführung eines Kanales zu vereinigen, worauf Schiffe von 300 Tonnen Gehalt bis *Gloucester* gelangen können. Die Beschreibung dieses Kanales ist in den Werken von *Huerne de Pommeuse, Dupin* und andern Schriftstellern ganz unrichtig angeführt, und verdient daher eine mehr detaillirte Darstellung.

Die Parlamentsakten zur Anlage dieses Kanals wurden in den Jahren 1793, 1797, 1805, 1818, 1822 und 1825 erlassen. In der ersten Akte wurde die Akziengesellschaft ermächtigt, einen Kanal von 18½ engl. Meilen Länge von *Berkeley Pill* bis *Gloucester* mit solchen Dimensionen anzulegen, dass alle Kauffahrteischiffe und selbst Westindienfahrer auf diesem Kanal bis *Gloucester* gelangen können; hierzu war die Gesellschaft ermächtigt 1100 Akzien, jede zu 100 *Liv. st.* zu emmittiren. Der Bau des Kanals wurde sofort begonnen, derselbe 70 bis 90 Fuss breit und 18 Fuss tief angelegt, allein man konnte mit dem ganzen Kapitale von 110000 *Liv. st.* nur die ersten 5 Meilen von *Gloucester* anzufangen, herstellen. Vom Jahre 1800 bis 1818 blieb die ganze Unternehmung in diesem unvollendeten Zustande, es wurde gar nichts gearbeitet und ein grosser Theil der Akzionäre ging mit Tode ab. Im Jahre 1818, 1819 und 1820 wurde der Bau weiter fortgesetzt, die Akzien auf die gegenwärtige Zahl von 1960 vermehrt und weitere 6 Meilen Kanal ausgeführt. Die Fonds der Gesellschaft waren itzt abermals erschöpft, kein weiterer Akzionär fand sich vor, und die Unternehmung kam wieder in Stocken. Nun wandte sich die gesellschaftliche Direkzion an die Regierung, welche im Jahre 1822 und 1823 zur Beschäftigung der brodlosen Arbeiter an verschiedene gemeinnützliche Unternehmungen eine Summe von 3 Millionen *Liv. st.* zusammen vorgestreckt hatte. Die obige Gesellschaft erhielt von dieser ungeheuren Summe den Betrag von 160000 *Liv. st.*, welcher, so wie es bei den anderen unterstützten Unternehmungen der Fall war, mit 4 Prozent verzinset, und jährlich $\frac{1}{20}$ der ganzen Schuld oder in 20 Jahren das ganze Kapital zurückgezahlt werden musste. Der Bau wurde nun nach Empfange des Darlehens fortgesetzt und vom Jahre 1823 bis 1827 die letzten 5¼ Meilen gebaut, und der Kanal hiermit beendigt, nachdem man beschlossen hatte, ihn nicht 18½ Meilen lang zu machen, und zu *Berkeley Pill* in die *Severn* einzumünden, sondern ihn bei *Sharpness Point* mit diesem Fluss zu vereinigen, wodurch er bloss 16¼ engl. Meilen zur Länge erhielt. Dieser ganze Bau wurde mit folgenden Geldmitteln ausgeführt:

1.	Emittirung von 1960 Akzien zu 100 *Liv.*	196000 *Liv. st.*
2.	Von der englischen Regierung empfangenes Darlehen zu 4%	160000 „
3.	Von Privaten wurde noch ausgeliehen	94000 „
	Zusammen . .	450000 *Liv. st.*

oder 4½ Millionen Conv. Gulden. Da hiervon 16¼ engl. Meilen = 3,₄₄₆ N. Oe. Meilen

hergestellt wurden, so entfielen beinahe $1^1/_3$ Millionen Conv. Gulden als Baukosten für eine N. Oe. Meile Kanal.

Die Dimensionen dieses merkwürdigen Kanales sind folgende: Die obere Breite beträgt 90 Fuss, die untere 20 Fuss, die Wassertiefe 18 Fuss, demnach die Böschung der Seitenwände beinahe 1:2. Der Kanal wurde am 26ten April 1827 eröffnet und wird seit der Zeit mit Schiffen bis zu 500 Tonnen Ladung befahren, wie denn auch am 21ten und 22ten August 1829, als der Herausgeber dieses den Kanal bereiste, gerade mehrere von Amerika und Westindien kommende Schiffe daselbst einliefen. Da die *Severn* in dieser Gegend auf 26 Meilen Länge bloss 10 Fuss Gefälle hat, so hat der Kanal in der ganzen Länge von $16^1/_4$ engl. Meilen keine andern Schleussen als bei seinem Anfange und Ende. Bei dem Anfange des Kanals in *Sharpness Point* ist eine doppelte Schleusse von 36 Fuss Breite und 40 Fuss Tiefe, dann 276 Fuss Länge (nämlich die erste Schleusse 163 Fuss und die zweite 113 Fuss) erbaut; der Fall einer jeden der zwei zusammenhängenden Schleussen ist beiläufig $5^1/_2$ Fuss, und diese doppelte Schleusse gewährt den Vortheil, dass man bei jeder Schleussung immer nur $^1/_2$ Schleusse an Wasser verliert. Für den Hydrotechniker ist der Bau eines Wasserfanges in *Sharpness Point* zur Einführung des *Severn*wassers in den Kanal von grossem Interesse. Derselbe besteht aus zwei massiven, in den Fluss nach Art der Fangsporne erbauten Mauern, wovon eine $^3/_4$ engl. Meilen lang ist. Nachdem dieser Bau ausgeführt war, versandete sich der Eingang in den Kanal und ein Theil der Mauern musste wieder abgebrochen werden. Mit dieser abgeänderten Anlage ist man jetzt ganz zufrieden. Es muss aber erinnert werden, dass die Frühjahrsfluthen bei anhaltenden Südwestwinden an diesem Punkte die bedeutende Höhe von 36 bis 38 Fuss erreichen.

Um zufälligen Ereignissen vorzubeugen oder bei Reparaturen einen Theil des Kanales sperren zu können, ohne das Wasser aus dem ganzen Kanal ablassen zu müssen, sind in der ganzen Länge desselben 10 paar einfache Schleussenthore (*Stop gates*) angebracht. Bei dem Ausgange des Kanales in *Gloucester* ist wieder eine doppelte Schleusse von 24 Fuss Breite angebracht und ein Wasserbassin angelegt, welches 60 Kauffahrteischiffe fassen kann. Ein grosses Magazin, welches vorzüglich zur Aufbewahrung von Getreide benützt wird, ist an dem Ufer des grossen Wasserbassin erbaut; mehrere Kraniche sind an demselben Ufer aufgestellt und der *Cheltenham Tramroad*, welchen wir Seite 639 im I. Bande beschrieben haben, läuft rings um dieses Bassin herum, so dass die Waaren mittelst der Kraniche aus den Schiffen unmittelbar auf die Eisenbahnwägen geladen werden können.

Nach Angabe des gesellschaftlichen Beamten, Herrn *S. Charlcton* ist im Jahre 1828 von den Schiffen, welche den Kanal befuhren, eine Tonnengebühr für 223000 Tonnen entrichtet worden und man hoffte im Jahre 1829 auf eine viertel Million Tonnen, nachdem z. B. in den ersten 16 Tagen des Monats August für 11000 Tonnen die Gebühr entrichtet wurde. Seit Eröffnung des Kanales am 26. April 1827 bis 21. August 1829 haben 12196 Schiffe denselben befahren, worunter jedoch auch die leeren Schiffe und die kleinern Fahrzeuge (*Craft*) gerechnet wurden. Die meisten Kauffahrteischiffe, welche auf dem Kanale nach *Gloucester* gelangen, bringen Bauholz, ausserdem auch noch Getreide, Weine, andere Kaufmannsgüter, Baumaterialien u. s. w.; diese Schiffe kommen von Russland, Amerika, Spanien, Portugal,

Preussen und andern Ländern und es muss in der That ein erhabenes Schauspiel gewesen seyn, als am 26. April 1827, drei grosse Dreimaster zuerst den Kanal befuhren und wohlbehalten in *Gloucester* ankamen, wo bis dahin nur kleine Fahrzeuge gesehen wurden. Alle Schiffe laden ihre Waaren entweder in *Gloucester* auf das Land aus, oder sie überladen auf kleinere Schiffe von beiläufig 100 Tonnen Gehalt, womit nunmehr die Schifffahrt auf dem Flusse *Severn* bis *Worcester* und von dort bis *Birmingham* auf dem Kanale fortgesetzt wird.

Die Schiffe gehen auf dem *Gloucester* und *Berkeley* Kanale mit Hilfe des Windes und der Segel hinauf; gewöhnlich werden aber zu einem Schiffe mit 150 Tonnen zwei Pferde und zu den grossen Schiffen mit 400 bis 500 Tonnen sechs Pferde ausserdem zum Zuge erfordert. Die Schiffskapitaine zahlen für zwei Pferde und einen Begleiter 1 *Liv.* für die ganze Fahrt von 16¼ Meilen Länge, wo die Pferde den andern Tag immer leer zurück gehen, da die Schiffe keine Rückladung finden. Selbst die grössten beladenen Schiffe legen auf dem Kanale 2 Meilen in einer Stunde, demnach den ganzen Weg immer in einem Tage zurück.

Die Verwaltung dieser grossen Unternehmung wird von dem thätigen Herrn *Charleton* als Beamten (*Clerk*) seit 12 Jahren gegen einen blossen Gehalt von 150 *Liv.* geleitet; diesem ist ein Schreiber mit 70 *Liv.* Gehalt beigegeben. Ausserdem ist ein Schleussenaufseher (*Lock keeper*) in *Gloucester* aufgestellt, welcher die Register für die durchgehenden Schiffe zu verfassen und die Tonnengebühr nach dem Tariffe zu berechnen hat und bloss wochentlich 1 *guinee* (10 fl. 30 kr. C. M.) erhält; ein zweiter Schleussenaufseher ist in *Skarpness Point*. Es ist wohl nicht möglich ein grosses Geschäft durch weniger Menschen und mit geringeren Auslagen verwalten zu lassen, vorzüglich wenn diess mit der hier vorherrschenden Pünktlichkeit und Rechtlichkeit geschieht. Inzwischen betrug die Einnahme der ganzen Unternehmung im Jahre 1829 wochentlich beiläufig nur 180 *Liv.* oder jährlich gegen 10000 *Liv.*, woraus sich der niedrige Stand der Akzien dieser Unternehmung hinlänglich erklärt. Sollte ja einmal auf dem Kanale eine Tonnengebühr für eine Million Tonnen erhoben werden, dann wird auch diese Unternehmung wie so viele andere in England trotz der ungeheuern Baukosten rentiren.

§. 363.

Die Kanäle von *Birmingham* gehören unter die wichtigsten Wasserverbindungen, die in England angelegt wurden. Nachdem ⅛ Akzie des alten *Birmingham*-Kanales, welche mit 17 *Liv.* 10 *sh.* eingezahlt wurde, am 7. August 1829 den Cours von 292 hatte, oder auf das beinahe 17fache des ursprünglichen Werthes gestiegen war und die Gesellschaft sich im Jahre 1825 veranlasst fand, sehr bedeutende neue Arbeiten an diesem Kanale vornehmen zu lassen, so wird auch eine genaue Darstellung der Verhältnisse dieser Unternehmung für unsere Leser nicht unwillkommen seyn.

Die erste Parlamentsakte für den alten Kanal von *Birmingham* erging im Jahre 1768 und in den folgenden Jahren wurden im Ganzen noch 11 solche Akten für diese Unternehmung erlassen. Der Kanal wurde ursprünglich auf 500 Akzien zu 140 *Liv. st.* oder auf das Unternehmungskapital von 70000 *Liv. st.* gegründet; später wurden aber die Akzien auf halbe, dann auf viertel und zuletzt auf achtel Akzien getheilt, so, dass gegen-

wärtig 4000 achtel Akzien zu 17 *Liv.* 10 *sh.* das Stammkapital der Gesellschaft vorstellen. Mit diesem Betrage wurden $22^{5}/_{8}$ engl. Meilen oder die Hauptlinie des *Birmingham*-Kanales hergestellt; in dieser Linie steigt der Kanal von *Birmingham* aus mittelst dreier Schleussen 20 Fuss hoch und fällt dann auf eine Tiefe von 126 Fuss herab.

Für den *Birmingham* und *Fazeley*-Kanal wurde die erste Parlamentsakte im Jahre 1783 ertheilt. Dieser Kanal sollte von einer andern Gesellschaft ebenfalls auf Akzien errichtet werden, allein eine zweite Parlamentsakte vereinigte diese Gesellschaft mit der ersten und es wurde nun beschlossen, keine neuen Akzien mehr zu kreiren, sondern bloss mittelst Anlehen den Bau auszuführen. Der *Birmingham* und *Fazeley*-Kanal ist $20^{1}/_{2}$ engl. Meilen lang und hat einen Fall von 228 Fuss.

Die Unternehmungs-Gesellschaft erbaute später noch mehrere Seitenarme von dem Hauptkanale aus, so dass derselbe ($22^{5}/_{8}$ Meilen), der zweite obengenannte Kanal ($20^{1}/_{2}$ Meilen) und die Seitenarme des erstern, zusammen eine Länge von 70 engl. Meilen ausmachen.

Die Gesammtauslage für diese Strecke wurde durch das Stammkapital von 70000 *Liv.* und durch ein Darlehen von beiläufig 130000 *Liv.* gedeckt, das letztere ist aber aus den Erträgnissen der Unternehmung bereits ganz zurückgezahlt worden. Bei dem alten Kanale waren in der Linie von *Birmingham* bis *Woolverhampton* zuerst drei Schleussen vorhanden, in welchen man hinauffuhr, sodann $^{3}/_{4}$ Meilen horizontale Strecke und hierauf wieder drei Schleussen, mittelst welcher die Schiffe um eben so viel gesenkt wurden; um nun das Wasser in das *Niveau* ober den beiderseitigen drei Schleussen zu heben, mussten mehrere Dampfmaschinen aufgestellt werden und diess verursachte jährlich gegen 10000 *Liv. st.* Kosten. Uiberdiess hatte der alte Kanal bedeutende Krümmungen, endlich war die Fracht auf demselben in den letztern Jahren so sehr gestiegen, dass die Schiffe im vollen Sinne des Wortes auf dem Kanale nicht mehr Platz fanden. Aus diesen Gründen beschloss die Gesellschaft, die alte Kanallinie zu verbessern und erhielt auch im Mai 1825 die Parlamentsakte hierzu. In dieser Akte war jedoch der Akziengesellschaft nicht mehr das Recht eingeräumt, in strittigen Fällen eine Jury zur Preisbestimmung der Grundstücke zu berufen, wie diess bei der ersten Anlage einer jeden neuen Unternehmung der Fall ist; man war sonach genöthigt, die Grundeinlösung nach freiem Uibereinkommen mit den Grundeigenthümern vorzunehmen und die erworbenen Grundstücke häufig sehr theuer zu bezahlen.

Die Arbeiten für die verbesserte Kanallinie wurden nach Erlangung der Parlamentsakte vom Jahre 1825 und nach Erwerbung der Grundstücke angefangen, und als der Herausgeber dieses am 31^{ten} August 1829 die ganze neue Kanallinie mit dem Bauingenieur Herrn *Mackenzie* besichtigte, waren die Arbeiten schon so weit vorgerückt, dass die Eröffnung des neuen Kanales auf die Mitte Oktober 1829 festgesetzt war. Dieser neue Kanal gewährt gegen den alten folgende Vortheile:

1tens. Bei der neuen Linie waren 6 Schleussen erspart, von welchen nach der vorhergehenden Beschreibung drei an jedem Ende der $^{3}/_{4}$ Meilen langen Strecke nächst *Birmingham* vorhanden waren. Man hatte nämlich zu diesem Zwecke den ganzen Rücken (*Smethwick Hill*) durchgegraben, um von dem Bassin in *Birmingham* bis *Tipton* oder 8 Meilen weit ohne Schleussen zu fahren.

2tens. Der Wassermangel, welcher in diesen $^1/_4$ Meilen und in dem Bassin in *Birmingham* häufig vorhanden war und fortwährend die Verwendung mehrerer Dampfmaschinen benöthigte, ist bei der neuen Linie nicht mehr, indem man ein grosses Zuleitungsgerinne (*Feeder*) von 5 Meilen Länge von dem nächsten Gebirge bis vor die Stadt *Birmingham* anlegte und das Wasser mittelst desselben in zwei grosse *Reservoirs* führte, aus welchen es in den Kanal nach Bedarf gelassen werden kann. Dieses Gerinne sammt den *Reservoirs* kostete gegen 100000 *Liv.*, allein man ersparte dadurch die frühere jährliche Auslage von 10000 *Liv.* für die Beischaffung des nothwendigen Wassers.

3tens. Die Länge der neuen Linie ist beiläufig um ein Drittheil kürzer als die alte Kanallinie; inzwischen wird die letztere ebenfalls offen gelassen, weil an dem alten Kanale bedeutende Manufakturen liegen, welche ihren Kohlenbedarf auf demselben zuführen lassen.

4tens. Dieser alte Kanal hatte 40 Fuss obere Breite, 16 Fuss untere Breite und 5 Fuss Wassertiefe, dann war nur auf einer Seite ein Treppelweg für den Pferdezug vorhanden. Der neue Kanal ist dagegen oben 50 bis 60 Fuss breit, hat beinahe vertikale Seitenwände und 5 Fuss Wassertiefe, ferner zu jeder Seite einen Treppelweg (*towing path*).

5tens. Endlich wird ein neues Bassin und Werfte an dem untern Theile des Kanals, wo er in den *Warwick*- und *Birmingham*-Kanal einmündet, angelegt; es können daher auch dort Kohlen ausgeladen und für den untern Stadttheil verkauft werden.

Die Ausführung dieser grossen Arbeiten war unter die Oberleitung (*superintendance*) des Herrn *Telford* gestellt, welcher jährlich 3 bis 4 mal hierher kam und während einigen Tagen dem Baue nachsah. Der bauführende Ingenieur (*residing engineer*) Herr *Mackenzie* musste überdiess alle Monate einen Bericht über die Fortschritte des Baues an Herrn *Telford* nach *London* einsenden; ausserdem waren noch einige Bauaufseher (*Overlookers*) von Strecke zu Strecke angestellt.

Unter den Bauobjekten, welche bei dieser merkwürdigen Kanalanlage vorkommen, zeichnen sich vorzüglich die grossen Durchgrabungen und die hierüber geführten Brücken aus. Die erste ausserhalb der Stadt *Birmingham* geht gerade durch den *Heath Hill*, welcher von der alten Kanallinie umfahren wurde. Der Kubikinhalt der ausgehobenen Erde und Steine in dieser Durchgrabung beträgt 375000 Kub. *Yards*; die ganze Arbeit war zu 15 *d.* für den Kub. *Yard* an einen Pächter kontrahirt worden und im August 1829 gingen bereits alle Kanalschiffe durch diese Strecke.

Die zweite grosse Abgrabung hat zum Zweck, die vorerwähnten drei Schleussen zu jeder Seite des *Smethwick Hill* zu ersparen, sie ist 4000 *Yards* lang, auf einer bedeutenden Strecke 71 Fuss tief und hat 1650000 Kub. *Yards* oder 184882 N. Oe. Kub. Klafter Inhalt, da 1 Kub. *Yard* = 0,11205 N. Oe. Kub. Klafter ist. Diese Arbeit wurde zu verschiedenen Preisen, deren Durchschnitt 14 *d.* für den Kub. *Yard* oder 5 fl. 12 kr. C. M. für die N. Oe. Kub. Klafter beträgt, an einen Unternehmer verpachtet, im Juni 1827 angefangen und man hoffte Mitte Oktober 1829 den Kanal in dieser Strecke anzulassen, nachdem 2 Monate vorher schon $^9/_{10}$ mit Wasser gefüllt war und von einer grossen Anzahl Schiffe, welche das Material herausführten, befahren wurde. Die Kosten dieser ganzen Abgrabung nebst den bedeutenden Brücken, welche zur Herstellung der Kom-

munikazion darüber angelegt werden mussten, betrugen 127000 *Liv. st.* oder mehr als fünf Viertel Million Conv. Gulden für eine Strecke von einer halben deutschen Meile! — Die Art, wie die angeführte ungeheuere Masse Erde und Steine aus der Abgrabung herausgeschafft wurde, war hier besonders merkwürdig. Man hatte nämlich in allen Strecken, wo gearbeitet wurde, zwei oder mehr *Tramroads* für die hin- und hergehenden Eisenbahnwägen, worauf die Erde weggeführt wurde, angelegt; in den ebenen Strecken innerhalb der Abgrabung wurden die beladenen Wägen durch Menschen oder Pferde fortgebracht, über die Böschungen aber dieselben mittelst vier Dampfmaschinen aufgezogen, welche von Strecke zu Strecke aufgestellt waren und die Kraft von 14, 30, 28 und 11, oder zusammen von 83 Pferden hatten. Während der Ausgrabung wurden die Eisenbahnen mit Zunahme der Tiefe auch immer tiefer gelegt; wie aber eine Strecke beendigt war, wurden die Eisenbahnen ganz abgebrochen, an einem andern Orte aufgestellt und eben dahin auch wieder die Dampfmaschinen versetzt; an andern Orten wurden die beladenen Wägen über die Böschungen auf den Eisenbahnen mittelst Pferden aufgezogen. Mehrere transportable Kraniche dienten dazu, die Quadersteine bei dem Mauerwerke einzuheben, endlich waren an vielen Orten Pumpen, die auch durch die Dampfmaschinen bewegt wurden und Tag und Nacht gingen, aufgestellt, um das sich ansammelnde Wasser fortwährend herauszuschaffen. Alle diese Maschinen und Vorrichtungen musste jedoch der Pächter ohne weitere Entschädigung beischaffen, da ihm nur die hergestellte Abgrabung mit den oben erwähnten 14 *d.* für den Kub. *Yard* bezahlt wurde.

Ueber die neue Hauptlinie des Kanales mussten 15 und über die Seitenarme und die Wasserbassins 11 Brücken, zusammen daher 26 Brücken hergestellt werden, wovon die meisten von Gusseisen ausgeführt wurden. Die schönste Brücke hierunter ist an dem Orte angelegt, wo die Abgrabung 71 Fuss tief ist; die Brücke hat hier wie alle andern nur einen Bogen von Gusseisen, jedoch mit 50 *Yards* oder 150 Fuss Spannung, während die Breite des Fahrweges 26 Fuss im Lichten beträgt. Das Gewicht des Gusseisens dieser Brücke beträgt 310 Tonnen und die Baukosten derselben beliefen sich sammt den gemauerten Widerlagspfeilern auf 8000 *Liv. st.* Die gusseisernen Brücken führen die Aufschrift: *Horseley Jron Works, Staffordshire*, 1827, und es wurde der Bau derselben kontraktmässig einem Unternehmer übertragen, welcher für die Tonne Gusseisen, im Baue verwendet, bei der ganz vollendeten und angestrichenen Brücke 14 *Liv.* (7 fl. 43 kr. C. M. für den N. Oe. Zentner) erhielt, jedoch hierfür alle Auslagen jeder Art, welche die Beischaffung und Verwendung des Materials verursachte, zu tragen hatte.

Das Zuleitungsgerinne (*Feeder*), dessen wir schon erwähnten, wurde ganz neu angelegt, um mittelst desselben das Wasser aus den nächsten Gebirgen in zwei *Reservoirs* bei *Birmingham* zu leiten. Dieses Gerinne geht beiläufig auf ⅓ seiner Länge in Stollen fort, welche mittelst herabgesenkter Schächte angelegt wurden; diese Stollen sind im Lichten 6 Fuss breit, 6 Fuss hoch und ganz von Ziegeln gewölbt. In den offenen Strecken geht das *Feeder* an zwei Orten mittelst Brückenwasserleitungen fort, wovon eine von Gusseisen, die andere aber von Ziegeln und mit Eisenplatten ausgelegt ist. Das grosse *Reservoir*, 1½ Meile ausser *Birmingham* oberhalb einer Krümmung der alten Kanallinie gelegen, misst 85 *Acres* (zu 1125 N. Oe. Quad. Klafter) wo-

von aber gewöhnlich nur 70 *Acres* (49,2 N. Oe. Joch) mit Wasser gefüllt sind; dieses *Reservoir* wurde im Jahre 1827 beendigt. Es hat im tiefsten Punkte 55 Fuss Wassertiefe, kann aber nur bis auf 45 Fuss Tiefe abgelassen werden, da es dann mit der Oberfläche des Kanals gleich steht. Dieses *Reservoir* enthält nach Angabe des Herrn *Mackenzie* das Wasser für 17000 Schleussen, eine jede zu 4000 Kub. Fuss. Ein zweites kleineres *Reservoir* wurde unterhalb dem ersten angelegt, jedoch noch nicht mit Wasser angelassen. Die Baukosten dieser zwei *Reservoirs* sammt dem *Feeder* betrugen mit Einschluss der Grundeinlösung gegen 100000 *Liv. st.*

Für alle diese Bauten, welche, wie wir gesehen haben, bloss eine Verbesserung der alten *Birmingham* Kanallinie bezwecken, wurde von 1825 bis 1829 die Summe von beinahe 400000 *Liv. st.* ausgegeben und man glaubte damals, dass noch 100000 *Liv. st.* benöthigt werden, um den Kanal in den vollkommensten Stand zu setzen. Es scheint zwar beinahe unglaublich, dass man auf die blosse Verbesserung eines bestehenden Kanales 5 Millionen Conv. Gulden verwendet, allein man wundert sich nicht mehr darüber, wenn man das Frachtquantum kennt, welches auf dem Kanale transportirt wird. — Da die Eigenthümer vieler Kohlenwerke jährlich ein Pauschale als Tonnengebühr (*Tonnage*) bezahlen, so lässt sich das Quantum der Güter, welche den Kanal befahren, nicht genau ausmitteln; inzwischen befahren unsern Erhebungen zu Folge wenigstens 150 Schiffe, jedes mit 24 Tonnen Ladung täglich den Kanal, welches daher für 52 Wochen zu 6 Tagen, ein Quantum von 150.24.6.52 = 1123200 Tonnen jährlich gibt. Nach den genauern Erkundigungen an Ort und Stelle sollen aber jährlich 1½ Millionen Tonnen oder dreissig Millionen Zentner auf dem Kanale transportirt werden. Diess ist wohl die hinreichende Aufklärung, warum ⅛ Akzie, welche mit 17 *Liv.* 10 *sh.* eingezahlt wurde, im Jahre 1829 den 17fachen Preis von 292 *Liv.* hatte. Erstaunenswürdiges Land, in welchem auf einer so kleinen Strecke ein Transport Statt findet, der wohl auf keinem zweiten Punkte unsers Erdballs vorhanden ist! —

Die Frachtkosten auf dem *Birmingham* Kanale ergeben sich auf folgende Art. Ein Kanalboot ladet im Durchschnitte 24 Tonnen Steinkohlen und macht den Weg von 8 engl. Meilen, welches die mittlere Länge der Steinkohlenzufuhr nach *Birmingham* ist, in einem Tage. Hierzu kommt ein zweiter Tag, welchen das Schiff im Kohlenwerke zum Aufladen verwendet, dann ein Tag für das Abladen im Bassin (*Wharf*) zu *Birmingham*, endlich ein vierter Tag für das Zurückfahren; eine solche Reise mit 24 Tonnen Kohlenladung wird daher binnen 4 Tagen zurückgelegt. Das beladene Schiff wird durch ein Pferd gezogen, welches ein Junge (*boy*) führt; auf dem Schiffe selbst befindet sich ein Mann, *Steerer* oder *boatsman* genannt. Dieser letztere verwendet auf eine Reise nicht 4, sondern bloss 2 Tage, weil er sogleich mit einem andern Boote den Tag nach seiner Ankunft zurückfährt; dasselbe findet auch bei dem Pferde Statt. Der Mittelpreis, welcher für den Mann, den Jungen und das Pferd für eine Reise gezahlt wird, ist 12 *sh.*, wofür jedoch das leere Schiff ebenfalls zurückgeführt werden muss. Hierzu kommen noch die Kosten für das Schiff selbst, endlich die Kosten für das Auf- und Abladen. In *Birmingham* werden solche Kanalschiffe von mehreren Unternehmern verfertigt, welche dieselben zu dem Durchschnittspreise von 6 bis 7 *sh.* wochentlich zum Transporte herleihen; es entfallen daher nebst den obigen 12 *sh.* für den Pferdezug noch 4 *sh.*

für die Schiffsmiethe oder zusammen 16 *sh.*, wofür 24 Tonnen 8 Meilen weit auf dem Kanale geführt werden. Diess gibt genau 1 *d.* für die Tonne und Meile oder 0,65 Kreuzer C. M. als Frachtkosten eines N. Oe. Zentner die N. Oe. Meile weit. Da hierunter noch nicht die Kosten für das Auf- und Abladen und eben so wenig die Zollgebühr (*tonnage*), welche an die Akziengesellschaft für die Benützung des Kanales gezahlt wird, begriffen ist, so ergibt sich abermals das auffallende Resultat, dass die Frachtkosten auf dem Kanale wirklich höher als auf einer Eisenbahn zu stehen kommen. Dieses Resultat erklärt sich übrigens nicht bloss aus dem Aufenthalte, welchen die Schiffe bei der Fahrt durch die Schleussen erleiden, sondern auch aus dem hohen Preise, welcher für die Miethe des Schiffes bezahlt wird. Da nämlich diese Schiffsmiethe für 24 Tonnen und die Entfernung von 8 Meilen mit 4 *sh.* bezahlt wird, so entfällt für das Schiff $\frac{1}{4}$ *d.* per Tonne und Meile, während nach Seite 616 des I. Bandes bei der *Darlington* Eisenbahn nur $\frac{1}{8}$ *d.* als Miethe des Wagens ebenfalls für die Tonne und die Meile gezahlt wird. D i e B e i s c h a f f u n g d e s K a n a l s c h i f f e s k o m m t d a h e r i n E n g l a n d z w e i m a l s o h o c h a l s d i e B e i s c h a f f u n g d e r E i s e n b a h n w ä g e n, welches in einem Lande, wo das Holz einen so hohen und das Eisen im Gegentheile einen sehr niedrigen Preis hat, begreiflich ist. Ein Kanalboot zum Transporte von Waaren auf dem *Birmingham* Kanale, welches 72 Fuss lang, 6½ Fuss breit und 5 Fuss hoch ist, kostete im Jahre 1829 120 *Liv.*; ein Boot für Steinkohlen mit gleichen Dimensionen mindestens 70 *Liv.*; in das erstere werden beiläufig 20 Tonnen, in das zweite 24 Tonnen geladen. Diese Preise würden sich in Deutschland, wo das Holz weit wohlfeiler ist, ganz anders stellen. Es lässt sich daher das Resultat der englischen Kanalfrachtkosten keineswegs auf die Frachtkosten auf unsern Kanälen anwenden, sondern es müssen zur Ausmittelung der letztern immer erst genaue, nach den Lokalitäten berechnete Ueberschläge verfasst werden, wie wir schon an mehreren andern Orten dieses Werkes bemerkten.

Eine zweite ebenfalls sehr wichtige Kanalunternehmung, welche erst in den letztern Jahren ganz neu angelegt wurde, ist der Bau des *Birmingham et Liverpool Junktion* Kanales. Derselbe stand unter der Leitung des Herrn *Telford* und man hoffte im Jahre 1831 den ganzen Kanal beendigen zu können. Die Baukosten waren auf 400000 *Liv. st.* angeschlagen, welche durch 4000 Akzien, jede zu 100 *Liv.* gedeckt wurden. Im August 1829 war auf eine jede dieser Akzien erst 55 *Liv.* eingezahlt, allein der Kours derselben Akzien war auf 18 *Liv.* herabgefallen. Demungeachtet wurden die Arbeiten rasch fortgesetzt und man zweifelte nicht an der gänzlichen Ausführung der Unternehmung.

§. 364.

Zu den grössten Kanalunternehmungen in Grossbrittanien gehört der K a n a l d e s *F o r t h u n d C l y d e.* Dieser Kanal ist in Schottland erbaut; sein Zweck besteht darin, den Kauffahrteischiffen, welche aus der Nordsee in das irländische Meer oder nach *Liverpool* gehen wollen, den gefährlichen Umweg um die nördliche Spitze von Schottland zu ersparen; der Kanal hat daher die Dimensionen, um gewöhnliche Kauffahrteischiffe aufzunehmen. Im Jahre 1767 wurde die Parlamentsakte zum Baue eines Kanales erlassen, welcher die Flüsse *Forth* und *Clyde* mit einander verbindet und einen Seitenarm nach *Glasgow* hat. Das erste Kapital zur Ausführung dieses Kanales, welcher 37¼ engl.

Meilen erhalten sollte, war auf 150000 *Liv. st.* angeschlagen, welche durch Emission von 1500 Akzien zu 100 *Liv.* eingezahlt werden sollten. Die Subscripzion kam jedoch nur bis auf 1297 Akzien zusammen. Der Bau begann am 10. Juni 1768, allein es fehlte bald am Gelde und der Kanal wurde bis *Hamilton Hill* bei *Glasgow* erst am 10. November 1777 beendigt. Die Arbeiten zur Herstellung der Verbindung der Flüsse *Forth* und *Clyde* wurden am 6. Juli 1786 bei *Stokinfield*, 3 Meilen von *Glasgow* begonnen und die Vereinigung des Kanales mit dem Flusse *Clyde* bei *Bowling Bay* am 28. Juli 1790 hergestellt. Vom Anfange des Baues bis zur Herstellung der Verbindung beider Meere waren daher mehr als 22 Jahre verflossen. Der Kanal wurde bis *Port Dundas* nächst *Glasgow* am 11. November 1790 beendigt und die Verbindung mit dem Monkland-Kanale am 31. Dezember 1790 bewirkt. Die Ursache dieses äusserst langsamen Fortschreitens des Baues liegt bloss in dem Mangel an Geld, welcher bei dieser Unternehmung so häufig eingetreten war. Es ist merkwürdig und gereicht dem Unternehmungsgeiste der Schottländer zur Ehre, dass die Eigenthümer der ersten 1297 Akzien nach Erschöpfung der Fonds immer wieder auf ihre mit 100 *Liv.* subscribirten Akzien einzahlten, so dass der gegenwärtige Betrag jeder Akzie 400 *Liv.* 16 *sh.* ist, welches für 1297 Akzien den Gesammtbetrag von beinahe 519840 *Liv. st.* gibt, die dermalen das gesellschaftliche Unternehmungskapital vorstellen. Dass man sich in den Erwartungen von der Unternehmung nicht getäuscht habe, erhellet aus dem Erfolge, indem die Dividende einer Akzie seit mehreren Jahren 27 *Liv.* beträgt und der Kours derselben von 400 *Liv.* 16 *sh.* auf 650 *Liv.* gestiegen ist.

Man ist bei der Anlage dieses grossen Kanales von der Ansicht ausgegangen, dass es zweckmässiger sey, die Schleussen, welche zur Uibersetzung des Gebirges nothwendig sind, an beide Ende des Kanales zu legen und auf dem höchsten Punkte desselben eine möglichst lange ununterbrochene Schiffahrtslinie herzustellen. Zu diesem Behufe steigt man mittelst 20 Schleussen, jede von 8 Fuss Höhe vom Anfange des Kanales bei *Grangemouth* vom Flusse *Forth* auf die Höhe des oben geführten Kanales und senkt sich auf der westlichen Seite in der Nähe von *Bowling Bay* eben so schnell mittelst 19 Schleussen von 8 Fuss Höhe in den Fluss *Clyde* herab. Die Erhöhung des Kanales über den *Forth* beträgt daher 160 und jene über den *Clyde* 152 Fuss oder um 8 Fuss weniger. Die äusserste Länge der Schiffahrtslinie von der Schleusse Nr. 1 am Flusse *Forth* bis zur Schleusse Nr. 39 am Flusse *Clyde* misst 35 Meilen; hierzu kommt der Seitenarm nach *Glasgow* mit 2¾ Meilen; die Gesammtlänge des ausgeführten Kanales ist daher 37¾ engl. Meilen. Der Weg von *Port Dundas* bis *Grangemouth* hat 29 Meilen und jener von *Port Dundas* bis *Bowling Bay* 12 Meilen Länge. Die Schleussen Nr. 1 bis 20 von *Grangemouth* bis zum höchsten Punkte der Kanallinie sind auf 10¼ Meilen Länge vorhanden; hierauf kommt eine horizontale Kanalstrecke ohne Schleussen (nämlich zwischen der Schleusse Nr. 20 und jener Nr. 21) von 16 Meilen Länge; von Nr. 21 bis Nr. 39 sind aber 8¾ Meilen, welches zusammen die oben angeführte Länge der Hauptkanallinie von 35 Meilen gibt. Die mittlere Breite des Kanales an der Wasseroberfläche beträgt 60 Fuss, die Breite an der Sohle 27 Fuss, die Wassertiefe 9 Fuss. Sämmtliche Schleussen sind darnach angelegt, dass Kauffahrteischiffe von 68½ Fuss Länge, und 19½ Fuss Breite, die 8¾ Fuss tief im Seewasser gehen, den Kanal ohne Anstand befahren können. Diese Schiffe legen den Weg von 35 Meilen von einer See zur andern in 18 Stunden zurück.

Die Hauptlinie des Kanales ist über 10 grosse Brückenwasserleitungen und 33 kleinere Objekte dieser Art geführt. Die grösste Brückenwasserleitung über den Fluss *Kelvin* ist 400 Fuss lang, 70 Fuss über dem Wasserspiegel des Flusses und besteht aus 4 Bogen von Quadersteinen. Das Wasser für die Linie am Scheidungspunkte des Kanales wird in 8 grossen Reservoirs, die zusammen 721 Acres oder über 500 N. Oe. Joch Flächeninhalt haben, gesammelt. Der Kanal wird nicht bloss von Kauffahrteischiffen, sondern auch von grossen Passagierbooten befahren und legt den Weg von *Port Dundas* bis *Falkirk* von 25 engl. Meilen in 5 Stunden zurück; von dort aber gehen die Reisenden mit andern schmälern Booten auf dem *Union*-Kanale bis *Edinburgh*. Die Schnelligkeit, womit man auf diesem Kanale durch die Schleussen gelangt, ist hier vorzüglich merkwürdig; eine jede Schleusse wird nämlich in 2 Minuten entleert und 3 Minuten dauert das Ein- und Auslaufen, demnach ist der Zeitverlust bei einer jeden Schleusse von 8 Fuss Fall nur 5 Minuten. Bei der äusserst bedeutenden Zunahme des Verkehres, welcher so sehr anwuchs, dass im Jahre 1827 schon 77511, im Jahre 1828 aber 95836 Reisende den Kanal befuhren, wurde es nothwendig, solche Postschiffe sowohl von *Port Dundas*, als von *Falkirk* täglich 3 mal abgehen zu lassen. Man bezahlte für die ganze Entfernung von 25 englischen Meilen 3 *sh.* am ersten Platze (*Cabin*) und 2 *sh.* am zweiten Platze (*Steerage*) am Schiffe.

Ein Seitenarm dieses Kanales führt, wie wir bereits erinnerten, auf einen nördlich von *Glasgow* liegenden Berg, *Hamilton Hill* genannt; hier ist ein grosser Behälter ausgegraben, welcher den Namen *Port Dundas* führt und zur Aufnahme aller Seeschiffe dient, die von *Glasgow* aus befrachtet werden oder Ladungen dahin bringen. Die Stadt *Glasgow* liegt zu beiden Ufern des Flusses *Clyde*, welcher aber daselbst nur für Boote oder flachgebaute Dampfschiffe, keineswegs aber für Kauffahrteischiffe fahrbar ist. Von der Stadt aus erhebt sich eine breite Strasse bis zur Oberfläche des Berges *Hamilton*, wo das *Bassin* angelegt ist, dessen Wasserspiegel gegen 25 Klafter über der Oberfläche des, die Stadt durchströmenden Flusses liegt. Es gibt wohl wenig überraschendere Erscheinungen, als die Anlage dieses *Port Dundas*. Der Herausgeber dieses hat am 9. Oktober 1829 zeitlich früh, wo die Stadt mit einem in England gewöhnlichen dichten Nebel bedeckt war, mit der Karte in der Hand diesen Hafen aufgesucht, welcher 1 engl. Meile von dem Innern der Stadt entfernt liegt; den bezeichneten Weg verfolgend stieg ich die steile Strasse hinan und glaubte, ich müsse den rechten Weg verfehlt haben, bis endlich auf dem Berge angelangt, der Wind den Nebel zertheilte und die Wimpel von mehr als 30 Kauffahrteischiffen, die unmittelbar vor mir standen, sichtbar machte. Wir suchen gewöhnlich Kanäle in der Nähe und daher in dem Thalwege der Flüsse, allein hier erscheint ein Kanal auf 150 Fuss Höhe über einer Stadt und trägt grosse Kauffahrteischiffe, während der die Stadt durchströmende Fluss nur von kleinen Fahrzeugen befahren wird. Wer immer England bereist, soll diesen Punkt nicht verfehlen und er wird sich hier überzeugen, dass alles durch Beharrlichkeit und Ausdauer dem Menschen möglich sey. — Hier wird man an die merkwürdige Antwort des Ingenieurs *Brindley* erinnert. Als derselbe vor einer Kommission des Unterhauses die Nützlichkeit der Anlage eines Kanales verfocht, welcher in der Nähe eines Flusses geführt werden sollte, und daher überflüssig schien, fragte ihn ein Mitglied der Kommission, wozu denn die Vorsehung

so viele und schöne Flüsse in England geschaffen hätte? — „Diess geschah“, erwiederte schnell *Brindley*, „um die Kanäle mit Wasser zu speisen“.

Die Uibersicht der Erträgnisse, welche auf dem *Forth* und *Clyde*kanale Statt hatten, ist sehr interessant, weil man hieraus, so wie aus andern solchen offiziellen Ausweisen das stete Fortschreiten der Industrie in England ersieht; wir theilen daher nachstehenden Ausweis, welcher den Akzionärs im Jahre 1829 vorgelegt wurde, unsern Lesern mit.

Jahr	Einnahme von den Schiffen mit Reisenden.			Gesammteinnahme am Kanale.			Jährliche Ausgaben.			Uiberschuss der Einnahme über die Ausgabe.			Gesammtbetrag der jährlich bezahlten Dividende		
	£.	sh.	d.	£.	sh.	d.	£.	sh.	d.	£.	sh.	d.	£.	sh.	d.
1800	—			21607	6	8	9497	6	3	12110	0	5	6485	0	0
1801	—			21725	1	1	9817	12	7	11907	8	6	13337	9	8
1802	—			23371	17	2	9708	0	4	13663	16	10	13704	19	4
1803	—			21293	5	0	13129	15	9	8163	9	3	13704	19	4
1804	—			20872	17	7	8900	16	9	11972	0	10	13704	19	4
1805	—			24561	16	4	9961	10	3	14600	6	1	13704	19	4
1806	—			26955	2	3	12578	0	11	14377	1	4	13704	19	4
1807	—			30567	5	10	12293	9	0	18273	16	10	13704	19	4
1808	—			28214	14	6	15587	8	11	12627	5	7	13704	19	4
1809	1317	14	6	31682	7	2	15840	8	8	15841	18	6	13704	19	4
1810	2449	18	0	40454	14	10	18790	11	3	21664	3	7	13704	19	4
1811	3046	4	4	27753	2	7	14105	12	2	13647	10	5	13704	19	4
1812	3453	9	9	29744	12	2	17105	17	0	12638	15	2	13704	19	4
1813	5221	18	5	40819	4	3	17693	5	9	23125	18	6	13704	19	4
1814	6132	4	0	48071	8	10	16791	9	8	31279	19	2	16579	19	8
1815	7087	13	8	47479	7	9	18225	7	10	29253	19	11	22697	10	0
1816	6536	4	10	38361	14	10	18514	4	10	19847	10	0	32425	0	0
1817	6381	14	2	45118	8	1	11145	6	9	33973	1	4	32425	0	0
1818	7937	0	7	50630	9	6	11202	15	9	39427	13	9	32425	0	0
1819	8096	0	3	41240	15	6	12952	17	3	28287	18	3	32425	0	0
1820	7810	7	10	37215	16	5	16178	15	9	21037	0	8	25940	0	0
1821	6803	11	3	40408	5	4	13762	12	11	26645	12	5	25940	0	0
1822	7933	2	0	43647	19	1	11471	8	5	32176	10	8	25940	0	0
1823	5388	6	9	44449	16	7	13525	3	11	30924	12	8	25940	0	0
1824	5696	9	5	49713	9	9	13630	0	1	36083	9	8	25940	0	0
1825	5874	19	11	53563	17	3	13169	5	11	40394	11	4	25940	0	0
1826	4413	9	4	44734	2	3	13944	8	4	30789	13	11	32425	0	0
1827	4515	6	8	51869	4	1	15902	1	4	35967	[illegible]	9	32425	0	0
1828	5966	8	3	50123	7	11	13127	7	10	36996	0	1	32425	0	0
				1076251	10	7	398553	2	2	677698	8	5	606174	11	4

Die Beförderung der Reisenden auf dem Kanale fing im Jahre 1809 am 1. Juni an, und vermehrte sich von Jahr zu Jahr so sehr, dass, wie wir bereits erinnerten, 77511 Personen im Jahre 1827 und 95836 im Jahre 1828 auf dem Kanale befördert wurden. Dasselbe Zunehmen des Verkehrs hatte aber auch auf dem schiffbaren Flusse *Clyde* Statt. Im Jänner 1812 wurde das erste Dampfschiff auf diesem Flusse, *Co-*

met genannt, von 38 Fuss Länge und 11½ Fuss Breite mit einer Maschine von 6 Pferdekräften gebraucht; im Jahre 1817 waren bereits 21 Dampfschiffe im Gange; im Oktober 1829 belief sich aber ihre Zahl auf mehr als 70, welche beinahe ausschliesslich zur Beförderung von Reisenden von und nach *Glasgow* verwendet wurden. Die Populazion dieser Stadt, welche im Jahre 1707 nur 14000 Seelen betrug, war im Jahre 1807 auf 114000, im Jahre 1821 auf 147000 und 1829 bereits auf mehr als 160000 Seelen gestiegen.

Die wichtigste Verbesserung, welche an dem *Forth* und *Clyde*kanal in der letztern Zeit Statt hatte, betrifft die Einführung der Dampfschiffahrt auf demselben. Zur Zeit als der Herausgeber dieses, im Herbste 1829, den Kanal bereiste, war man bereits mit Versuchen über diesen Gegenstand beschäftigt, und die Akziengesellschaft hatte ein Commitee zu diesem Behufe aufgestellt. Der interessante Bericht dieses Ausschusses findet sich in den seit 1831 neu erscheinenden: *Annales des ponts et chaussées. Memoires et documens relatifs à l'art des constructions et au service de l'ingénieur; Lois, ordonnances et autres actes, concernant l'administration des ponts et chaussées. Paris, chez Carilian-Goeury,* 1831, *VI. Cahier, page* 369. Wir ersehen aus diesem Berichte, dass bereits im Jahre 1802 das erste Dampfschiff auf dem Kanale in der Absicht aufgestellt wurde, um mittelst desselben Kauffahrteischiffe an das Schlepptau zu nehmen und fortzuziehen; allein die Besorgniss, dass die Böschungen von Erde (*Slopes*) durch die heftige Bewegung der Wellen angegriffen und der Kanal auf diese Art beschädigt würde, veranlasste, dass man die Sache bald aufgab. Der Fortgang, welchen die Dampfschiffahrt in den vereinigten Staaten von Nordamerika machte, veranlasste die Akziengesellschaft, diesen Gegenstand im Jahre 1812 wieder aufzunehmen, doch auch dieser Versuch misslang. Im Jahre 1828 wurde das Dampfschiff *Cupido* von dem Flusse *Clyde* auf den Kanal gebracht und da seine kleinen Dimensionen die Fahrt durch alle Schleussen, die nur 20 Fuss Breite haben, und unterhalb aller Brücken zuliess, so wurden in Gegenwart des Herrn *Watt* aus *Birmingham* vielfältige Versuche hiermit angestellt. Der Bericht, welcher am 6ten November 1828 hierüber erstattet wurde, wiess nach, dass die Kosten für den Schiffszug bei Anwendung der Kraft der Dämpfe höchstens die Hälfte der Schiffszugkosten mittelst Pferden betrage, dass sonach die Einführung der Dampfschiffahrt auf dem Kanale von sehr grossem Vortheile sey.

Da man erfahren hatte, dass auf den schmalen Flüssen in Amerika die Räder der Dampfschiffe nicht zur Seite, sondern hinten angebracht seyen, so liess ein Mitglied des Commitee eine genaue Zeichnung dieser Schiffe kommen. Sofort wurde an einem bereits seit dem Jahre 1825 auf dem Kanale gebrauchten, ganz aus Eisen verfertigten Schiffe, *Cyclope* genannt, eine Dampfmaschine von 15 Pferdekräften aufgestellt, und die Räder zur Bewegung des Schiffes hinter demselben angebracht. Obgleich dieses Schiff wegen der bedeutenden Stärke des gewalzten Eisenblechs, woraus es verfertigt wurde, sehr schwer ist, so legt dasselbe dennoch die Strecke zwischen *Alloa* und *Port Dundas* von 40 engl. Meilen in kürzerer Zeit zurück, als es bei Anwendung der Pferdekraft der Fall ist; von dieser Strecke sind ¾ am Kanale, wo 20 Schleussen durchzufahren sind, und ¼ an der Seeküste. Der Transport von Waaren auf diesem Schiffe

findet daher noch immer Statt. Zur Beseitigung des nachtheiligen Einflusses, welcher aus der heftigen Wellenbewegung entstehen könnte, liess die Akziengesellschaft den ganzen höher gelegenen Theil des Kanales an beiden Böschungen mit Steinen ausmauern und die Dämme erhöhen, damit der Wasserstand gleichfalls erhöht werden könne. Nachdem man sodann eine Reihe von Versuchen gemacht hatte, wurden zwei neue Dampfschiffe bei den Maschinenbauern *Fairbairn* und *Lilly* bestellt, mittelst welcher leicht gebaute Postschiffe (*passage boats*) mit Reisenden auf dem Kanale am Schlepptaue mit einer Geschwindigkeit von wenigstens 6 engl. Meilen in der Stunde fortgezogen werden.

Es ist merkwürdig, dass solche Postschiffe auf dem sehr schmalen Kanale von *Paisley* die Strecke zwischen *Johnston* und *Glasgow* von 12 engl. Meilen viermal des Tages und zwar in jeder Stunde 8 engl. Meilen (1,696 N. Oe. Meilen) zurücklegen; diese Schiffe werden von 6 Pferden gezogen und enthalten gewöhnlich 70 Reisende. Auch auf den andern englischen Kanälen gehen zwischen den bedeutenden Ortschaften Postschiffe, welche mit Pferden fortgebracht werden und häufig die Reise sehr schnell zurücklegen. Da jedoch hierzu immer eine sehr bedeutende Kraft erfordert wird, man aber anderseits und vorzüglich seit Einführung der Eisenbahnen auf Schnelligkeit der Transporte sieht, so ist bei dem Unternehmungsgeiste der Engländer nicht zu zweifeln, dass binnen einigen Jahren auf allen breiteren Kanälen die Dampfschiffahrt eingeführt wird. In jedem Falle wird der günstige Erfolg auf dem *Forth* und *Clyde*kanal viel dazu beitragen.

§. 365.

Die bisher beschriebenen Kanäle wurden sämmtlich durch Akziengesellschaften oder einzelne Private ausgeführt, welchen die Regierung, wie wir bereits erinnerten, die Ermächtigung für diese Unternehmungen mittelst einer Parlamentsakte ertheilte. Nur in ausserordentlichen Fällen wurden jenen Unternehmungen Darlehen aus dem Staatsschatze bewilligt, welche bereits in der Ausführung weit fortgeschritten waren, demnach die erforderliche Sicherheit darboten, und deren Ausführung überdiess dem ganzen Lande oder doch einer bedeutenden Landesstrecke, welche der Kanal durchschneidet, von grossem, anerkannten Nutzen war. Wir kommen nun zu einem Kanale, welcher ganz auf Staatskosten ausgeführt wurde, und durch seine riesenhafte Anlage die Aufmerksamkeit eines jeden Reisenden in Anspruch nimmt. Diess ist der *Caledonische* Kanal in Schottland, welcher mit solchen Dimensionen erbaut wurde, um Fregatten von 32 Kanonen zu tragen. Dieser Kanal wurde in diesem Jahrhunderte zu einer Zeit erbaut, wo England ununterbrochen in Kriege verwickelt war; er wurde erst am 23ten Oktober 1822 eröffnet. Wir empfehlen jedem gebildeten Reisenden, diesen Kanal zu bereisen, und sich hierzu eines Dampfschiffes zu bedienen. Da die Zahl dieser Schiffe in den letztern Jahren in England so sehr vermehrt wurde, so pflegen gewöhnlich zwei oder drei Familien ein solches Dampfschiff, wofür man täglich einige *Liv. st.* zahlt, auf ein oder mehrere Wochen zu miethen und damit den *Caledonischen* Kanal, einen Theil der Küsten von Schottland, und manchmal selbst die Orkadischen Inseln zu bereisen. Die geringe Kostspieligkeit dieser Reise, welche durch die bezaubernd schönen Gegenden Schottlands an den Ufern seiner mahlerischen Seen und

den kühn in das Meer heraustretenden Küsten fortgeht, ist wahrlich von der Art, um jeden Reisenden, der nur einigermassen über seine Zeit verfügen kann, zu veranlassen, diese herrliche Gegend zu besuchen.

Nach der Dämpfung des im Jahre 1745 ausgebrochenen Aufstandes ertheilte die Kommission der konfiszirten Güter dem damaligen Civil-Ingenieur zu *Glasgow*, *James Watt* den Auftrag, einen Plan von dem mittleren Theile von Hochschottland zu verfertigen. In diesem Jahre (1773) wurde von *Watt* der erste Vorschlag gemacht, die Seen *Ness*, *Oich*, *Lochy*, *Eil* und *Linnhe*, welche eine beinahe gerade von Nordost nach Südwest fortlaufende Kette bilden, mittelst eines Schiffahrtskanales zu vereinigen, um auf diese Art grosse Kauffahrteischiffe auf einem kurzen Wege aus der Nordsee in das irländische Meer zu führen, und den gefährlichen Umweg bei den Orkadischen Inseln zu vermeiden. Das Projekt von *Watt* lag übrigens in der Natur der Sache, denn ein Blick auf die Karte reicht hin, um einzusehen, dass die Buchten und Seen, welche zwischen *Fort Inverness* und *Fort Williams* liegen, eine höchst vortheilhafte Lage zur Verbindung der zwei Meere darbiethen. Zur Zeit als *Watt* seinen Vorschlag machte, war man jedoch von dem Erfolg des *Forth-* und *Clyde*-kanales noch nicht überzeugt, und da die Regierung der Unternehmungsgesellschaft des letzteren einen Betrag von 50000 *Liv. st.* darleihen musste, um den Bau desselben nicht aufgeben zu lassen, so konnte man sich allerdings damals noch nicht zur Ausführung eines so grossen Werkes entschliessen. So wie jedoch der *Forth-* und *Clyde*kanal eröffnet war, die Vortheile seiner Ausführung anschaulich vorlagen, und man sehr zu bedauern anfing, diesem Kanale keine bedeutendern Dimensionen zur Aufnahme grösserer Schiffe gegeben zu haben, wurde auch das Projekt von *Watt* wieder aufgenommen und im Jahre 1802 ertheilten die Lords des Staatsschatzes Herrn *Telford* den Auftrag, diese Gegend neu aufzunehmen, und schon 1803 wurden die ersten Fonds zum Baue des Kanales von dem Parlamente angewiesen. Dem erstatteten Berichte des Herrn *Telford* zu Folge beträgt die Entfernung des Meerbusens *Murray* an der Nordsee und des Sees *Eil*, der einen andern Busen gegen das atlantische Meer bildet, nur beiläufig 60 engl. Meilen, und in dieser Länge kommen vier Seen vor, die zusammen 36¾ engl. Meilen messen, nämlich:

Der See *Oich*, welcher am höchsten und zwar 94 Fuss über dem Wasserspiegel der Nordsee zur Zeit der Ebbe liegt, hat eine Länge von . .	3½ Meilen
Aus diesem See fliesst das Wasser durch den Fluss *Oich* in den See *Ness*, dessen Länge misst .	22 „
Aus diesem See fliesst das Wasser durch den Fluss *Ness* bis an die Nordsee, nachdem es den See *Doughfour* durchströmte, von	1¼ „
Auf der entgegengesetzten Seite vom See *Oich* befindet sich auf einer Entfernung von 3000 *Yards*, innerhalb welcher der Scheidungspunkt zwischen der Nordsee und dem atlantischen Meere liegt, der See *Lochy*, dessen Länge misst .	10 „
Gesammtlänge der Seen . .	36¾ Meilen.

Es war demnach nur eine Durchgrabung von beiläufig 3000 *Yards* vorzunehmen, um die Verbindung der Wässer, welche sich in die Nordsee und das atlantische Meer ergiessen, zu bewirken. Nebstbei würde aber noch erfordert, entlängs der reissenden

Flüsse *Ness, Oich* und *Lochy* Kanäle anzulegen, um eine schiffbare Linie zwischen den oben genannten Seen zu erhalten. Die auf solche Art ausgegrabene Kanallänge misst 22 Meilen, der übrige Theil der Strecke von 60 Meilen wird auf den Seen zurückgelegt.

Es kann nicht in dem Plane dieses Werkes liegen, eine nähere Beschreibung der merkwürdigen Bauten, welche bei diesem Kanale Statt fanden, zu geben. Hierüber sind die Werke von *Dupin, Dutens, Huerne de Pommeuse* und andere Schriften über den neuern Kanalbau nachzulesen. Wir bemerken daher bloss, dass der Kanal eine Tiefe von 20 Fuss, eine Breite von 50 Fuss an seiner Sohle und eine Böschung der Seitenwände von 2:3 hat. Einige Fuss unter dem obern Wasserspiegel ist ein horizontales Banquet von 6 Fuss Breite angebracht, an dessen Ende wieder dieselbe Böschung bis hinauf reicht. Durch diese Einrichtung werden die Wellenschläge gegen den obern Theil der Böschungen vermindert, welches hier von Wichtigkeit ist, da der Kanal fortwährend von Dampfschiffen befahren wird; überdiess werden auch die Beschädigungen der Seitenböschungen, welche bei dem Anstossen der Seeschiffe an die Ufer entstehen, gleichfalls minder gefährlich, und findet eine Abrutschung des Erdreichs von oben Statt, so bleibt dasselbe auf dem Banquet liegen und kann leichter herausgeschafft werden, als wenn die gleichförmige Böschung der Seitenwände von der Oberfläche des Wassers bis zur Sohle des Kanales herabginge. Dadurch wurde aber die Breite des Kanales an seinem Wasserspiegel auf 122 Fuss erweitert.

Die Höhe von 94 Fuss, auf welcher der höchste See in dieser Linie über der Nordsee liegt, wird mittelst 12 Schleussen erreicht, und da der Fall bis zum irländischen Meere nur 90 Fuss beträgt, so sind auf dieser Seite nur 11 Schleussen, demnach am ganzen *Caledonischen* Kanale 23 Schleussen vorhanden. Der Bau einer jeden Schleusse kostete 8000 *Liv. st.* Da man zur Zeit als diese Schleussen gebaut wurden, alles Bauholz für den Bedarf des Krieges verwendete, so wurden die Schleussenthore von Gusseisen verfertigt. Die ersten Thore dieser Art, welche sehr massiv waren, wogen 28 Tonnen; die neuern Thore wiegen bloss 22 Tonnen. Von diesen Schleussen sind vorzüglich jene merkwürdig, welche zunächst dem See *Lochy* liegen; man hat nämlich den Kanal am rechten Ufer des Flusses *Lochy* von dem See gleiches Namens in einer tiefen Abgrabung möglichst weit fortgesetzt und sodann 8 Schleussen über einander angelegt. Der imposante Anblick, welchen diese Schleussen von der Ferne gewähren, veranlasste die Seeleute dieselben „Treppe des Neptun" (*Neptune's stairs*) zu nennen. *Walter Scott* hat sowohl diese Schleussen als den ganzen Kanal in einem Gedichte besungen, welches in dem Munde eines jeden Seefahrers klingt, der den Kanal bereist. Bei der Eröffnung dieses merkwürdigen Kanales am 23[ten] Oktober 1822 ging zuerst ein Dampfboot und zwei *Sloops* auf demselben, und man legt gegenwärtig die Reise von Meer zu Meer in 10 bis 12 Stunden zurück.

§. 366.

Die vorstehende kurze Beschreibung der vorzüglichsten Kanalunternehmungen in England, ihrer Baukosten, des Frachtquantums, welches darauf geführt wird und der Erträgnisse, welche diese Bauten ihren Unternehmern abwarfen, mag ein Bild von der Ausdehnung und der Grösse der Wasserkommunikazionen Englands, so wie von dem

äusserst lebhaften Verkehre daselbst geben. Es ist zu bewundern, dass die grösste Zahl dieser Kanalbauten innerhalb eines halben Jahrhunderts, nämlich vom Jahre 1760 bis 1810 Statt hatte, während welcher Zeit gerade England in fortwährende Kriege verwickelt war. Wie gross die Baukosten sämmtlicher Kanalunternehmungen seyen, ist noch von keinem Schriftsteller nachgewiesen worden und dürfte aus der Ursache nicht anzugeben seyn, weil beinahe alle Unternehmungen nebst dem von den Akzionärs eingezahlten Stammkapitale noch Darlehen zur Ausführung derselben machten, endlich auch gewöhnlich von den jährlichen Erträgnissen, wie wir gesehen haben, einen Theil zum weitern Baue verwendeten. Dieser letztere Betrag könnte nur dann ausgewiesen werden, wenn man die Jahresrechnungen aller Gesellschaften vom Anfange an durchginge. *Sutcliffe* schätzt in seiner *Treatise on Canals and Reservoirs*, welche im Jahre 1816 zu *London* erschien, die Baukosten für Kanäle, welche in den 25 Jahren vor Bekanntmachung seines Werkes ausgelegt wurden, auf 30 Millionen *Liv. st.* oder 300 Millionen Conv. Gulden. Allein dieser Anschlag ist gewiss weit unter der wirklich verausgabten Summe und kann vielleicht selbst das Doppelte betragen.

Unter den Seite 508 bis 510 angeführten 67 Kanälen, deren Akzien auf der Börse in *London* verkauft werden, sind mehrere, welche ihren Unternehmern einen sehr hohen Gewinn abwerfen und sich noch immer mit 30 bis 50, ja selbst mit 70 Prozent, wie es bei dem Kanale von *Erewash* der Fall ist, verzinsen, und es ist bei der steten Zunahme des Verkehres in England auch nicht anzunehmen, dass dieser Gewinn geringer werden sollte. Inzwischen zeigt derselbe Ausweis, dass auch viele Kanäle den Erwartungen nicht entsprochen haben, wie denn mehrere derselben ganz aufgegeben oder verlassen wurden. In einem Lande, wo der Unternehmungsgeist jeden neuen Gegenstand mit Lebhaftigkeit auffasst, kann es wohl nicht anders geschehen, als dass nebst vielen äusserst glücklichen Unternehmungen, wie es hier der Fall ist, auch einzelne minder vortheilhafte und selbst einige, die den Unternehmern gar keinen Nutzen bringen, zur Ausführung kommen. Abgesehen von den Vortheilen, welche England im Allgemeinen aus den Kanälen zog, ist es eine erwiesene Thatsache, dass der Bau der Kanäle den Unternehmern im Durchschnitte von grossem pekuniärem Vortheile war. Welche grossen Kanalbauten noch dermalen in England vorgenommen werden, haben wir an mehreren Orten und vorzüglich bei dem Kanale von *Birmingham* Seite 530 angeführt. Man darf daher keineswegs der Meinung seyn, wie wir in manchen deutschen Schriften seit mehreren Jahren gelesen haben, dass die englischen Kanäle grossentheils aufgegeben und durch Eisenbahnen ersetzt werden.

§. 367.

Der Bau der Eisenbahnen hat in den letzten Jahren allerdings die allgemeine Aufmerksamkeit in Anspruch genommen und man hat wiederholt die Frage aufgeworfen, ob die Anlage der Schiffahrtskanäle oder Eisenbahnen zur Beförderung der Frachten zuträglicher sey. Diese Frage hat zwar für jene Länder ihr Interesse zum Theil verloren, wo die Baukosten bereits ausgelegt und diese Bauwerke vollendet sind, allein um so wichtiger ist diese Untersuchung für jene Gegenden, wo solche Anstalten wegen mancherlei vorgefundener Schwierigkeiten noch unterblieben

und der Hoffnung glücklicherer Zeiten vorbehalten werden mussten. Wir glauben daher der Erörterung dieser Frage noch eine Aufmerksamkeit widmen zu können.

Die Hauptvortheile der Wasserfracht beruhen auf der leichten Beweglichkeit der Theile des Wassers, auf der horizontalen Ebene seiner Oberfläche, und dann auf der Leichtigkeit, mit welcher Schiffe in Schleussen ohne Anwendung einer besondern Zugkraft vom Wasser selbst gehoben und über Berge hinweggeführt werden.

Uiber die Beweglichkeit der Wassertheile ist zu bemerken, dass dieselbe im Winter gänzlich verloren gehe, wodurch die Schiffahrt in den nördlichen Ländern jährlich durch einige Monate unterbrochen wird. Dasselbe geschieht zuweilen auch bei trockenen Sommern, wo die Kanäle an Wasser Mangel leiden. Wir haben gesehen, dass zu diesem Behufe bei mehreren Kanälen in England Dampfmaschinen aufgestellt werden mussten, um das Wasser aus den niedrigern Kanalstrecken in die höhern, wo kein hinreichender Zufluss Statt findet und die Ausdünstung zu viel beträgt, zu heben. Im Gegentheile kann auf einer Eisenbahn oder Landstrasse zu jeder Jahreszeit, im Sommer und Winter gefahren werden, und selbst die Vornahme der Reparaturen hält die Fahrt nicht auf, weil den beschädigten Stellen leicht ausgewichen werden kann, während bei jeder grossen Reparatur an einem Kanale die betreffende Strecke abgelassen und die ganze Fracht auf dem Kanale eingestellt werden muss. Die Landfracht besitzt daher in dieser Hinsicht schon einige wesentliche Vortheile vor der Wasserfracht.

Die Beweglichkeit der Wassertheile ist bei hinlänglicher Wärme zwar sehr gross, aber doch nicht von der Art, dass die Schiffe ohne allen Widerstand auf dem Wasser bewegt werden könnten. Die Schiffe sinken nämlich in das Wasser um so tiefer ein, je schwerer sie beladen werden, und dann ist nach Maassgabe des Raumes, den sie im Wasser einnehmen, auch ihre Bewegung beschwerlicher. Die Wassertheile, welche vor dem Schiffe in der Fahrtstrasse liegen, müssen auf die Seite geschafft werden und dagegen muss rückwärts der vom Schiffe verlassene Raum sich wieder mit Wasser anfüllen. Hierdurch entsteht vor dem Schiffe ein Aufstau oder eine Erhöhung und hinter dem Schiffe eine Erniedrigung des Wassers (*mou et remou*), welche beide um so grösser und sichtbarer sind, je schneller das Schiff gezogen wird. Der Widerstand, welcher hieraus entsteht, ist der Querschnittsfläche der Körper im Wasser und bei mindern Geschwindigkeiten dem Quadrate der letztern proporzional, er nimmt aber bei grössern Geschwindigkeiten, wie die Seite 480 erwähnten Versuche mit Schiffen darthun, in einem etwas grössern Verhältnisse als dem Quadrate der Geschwindigkeit zu. In dieser Hinsicht steht den Schiffen auf dem Wasser ein ähnliches Hinderniss entgegen, wie den Frachtwägen auf dem Steinpflaster. Die Bewegung der Schiffe wird also vorzüglich von ihrer Geschwindigkeit beschränkt und die nöthige Zugkraft für die Kanalschiffe kann nicht angegeben werden, ohne zugleich auf ihren Flächenraum im Wasser und auf den Weg Rücksicht zu nehmen, den sie in einer bestimmten Zeit zurücklegen.

§. 368.

Die Last, welche von einem Pferde auf einem Kanale fortgezogen werden kann, hängt nicht bloss von der Bauart der Schiffe, sondern vorzüglich auch von der Quer-

schnittsfläche des Kanales gegen jene des Schiffes ab. Je breiter und tiefer die Kanäle sind, desto leichter gehen die Schiffe auf denselben, und umgekehrt gehen die Schiffe auf schmalen Kanälen nur mit Anwendung einer grössern Kraft fort. Da überdiess das Gewicht der Schiffe, welches ebenfalls von dem Pferde fortgebracht werden muss, sehr ungleich ist, so lässt sich auch kein bestimmtes Frachtquantum angeben, welches von einem Pferde bei seiner gewohnten Anstrengung fortgebracht werden kann. Inzwischen ist es als eine mittlere oder Durchschnittserfahrung von England anzusehen, dass ein Pferd von mittlerer Stärke eine Ladung von 24 Tonnen oder 435 N. Oe. Zentner und nebstbei noch die Hälfte hiervon als Gewicht des Schiffes fortbringen und damit in der Stunde einen Weg von 2½ englischen Meilen zurücklegen kann. Nehmen wir 8 Arbeitsstunden oder täglich den Weg von 20 englischen Meilen (4,24 N. Oe. Meilen) und die Ladung von 435 N. Oe. Zentnern an und vergleichen hiermit die im I. Bande Seite 618 angeführte Leistung eines Pferdes auf einer Eisenbahn von 120 N. Oe. Zentner Ladung auf 4,8 N. Oe. Meilen tägliche Entfernung, so folgt, dass ein Pferd bei der angegebenen Geschwindigkeit auf einem Kanale 3⅕ mal so viel Ladung führen könne, als auf einer Eisenbahn. Andere Schriftsteller, welche die früher bestandenen minder vollkommenen Eisenbahnen zum Maasstabe der Vergleichung annahmen, stellen den Satz auf, dass ein Pferd auf einem Kanale 4 bis 5 mal so viel an Ladung fortbringen könne, als es auf einer Eisenbahn der Fall ist. Diess ist jedoch bei den neuern sehr vollkommen ausgeführten, mit hinreichend starken gewalzten Schienen belegten Eisenbahnen keineswegs der Fall, und man kann das von uns aufgestellte Verhältniss als richtig ansehen. Diess wird man auch noch aus folgenden Gründen begreiflich finden.

Der horizontale Stand, den die Natur der Oberfläche des stehenden Wassers gibt, ist ohne Widerspruch der vollkommenste, welcher auf Eisenbahnen in demselben Grade durch Menschenhände nie zu erreichen seyn wird. Wir haben jedoch hierüber schon bemerkt, dass dieser horizontale Stand von der Anhäufung des Wassers vor dem Schiffe und von der Niederung des Wassers hinter demselben merklich gestört wird. Dagegen lehrt die Erfahrung von den Eisenbahnen, dass selbe bei längerem Gebrauche an der Oberfläche abgeglättet und dass auch die Reibung sowohl an den Bahnschienen als auf den Achsen der Räder immer mehr vermindert werde. Uiber die kleinen wellenförmigen Unebenheiten, die sich gleich bei der Anlegung, oder durch Nachgiebigkeit einzelner Schienen bei den Eisenbahnen ergeben, ist dasselbe zu bemerken, welches bereits im I. Bande §. 536 von den Strassen angeführt wurde; es wird nämlich die Zugkraft dadurch weder gehindert, noch befördert, weil die Bewegung des Wagens über solche kleine Erhöhungen von der sogenannten Trägheitskraft unterstützt und die dabei verlorene Geschwindigkeit auf der nächstfolgenden abhängenden Seite wieder ersetzt wird.

Uiber den Vortheil, welcher für die Kanalschiffe durch Schleussen bei dem Hinauf- und Herabsteigen der Frachten über Anhöhen bewirkt wird, lässt sich leicht aus der Rechnung zeigen, dass die dabei vorfallende Zeitversäumniss sich mit den Vorspannkosten bei der Landfracht ausgleiche. Wollte man hierbei auch erinnern, dass die Zugpferde bei ihrem Stillstande an den Schleussen ausruhen und dadurch zur Fortsetzung ihres Zuges für die Kanalfahrt mehr Kraft erhalten, so steht dem doch die oben ange-

führte Erfahrung bei den englischen Kanälen entgegen, welche zeigt, dass die gewöhnliche Geschwindigkeit der Kanalschiffe von 2½ engl. Meilen in der Stunde nicht grösser ist, als die Geschwindigkeit der Frachtwägen auf ebenen Landstrassen. Die Kraftvermehrung, welche von der kurzen Ruhe bei den Schleussen entstehen kann, wird nämlich schon bei der Einfahrt und Ausfahrt aus den Schleussen erschöpft. Denn es ist bekannt, dass alle Schleussenkammern zur Schonung der Baukosten und des Speisewassers enger als der übrige Kanal und meistens nur so breit angelegt werden, dass nur ein oder zwei Schiffe darin Raum finden und auch so viele ein- und ausgeführt werden. Weil nun durch den kleinen Spielraum, der zwischen dem Schiffe und den Wänden der Schleusse noch übrig ist, so viel Wasser, als der Raum des Schiffes beträgt, bei der Einfahrt aus der Schleussenkammer hinausgetrieben wird, und bei der Ausfahrt wieder zurücktreten muss, so wird im ersten Falle der Wasserstand vor dem Schiffe mehr erhöht und im zweiten Falle hinter dem Schiffe mehr erniedrigt, als auf dem übrigen Kanale. Selbst die Trägheit einer so grossen Schiffslast, welche sich bei dem Uibergange des Schiffes von der Ruhe zur Bewegung äussert, kommt den ermüdeten Zugpferden zwar bei der Einfahrt in die Schleussen zu Hilfe, stellt sich aber bei der Ausfahrt in demselben Maasse entgegen. Hieraus erhellet deutlich, warum sowohl die Einfahrt als auch die Ausfahrt aus den Schleussen schwerer und mit mehr Anstrengung der Zugkraft als auf dem übrigen Kanale verbunden ist.

Nebst den Schleussen werden auch die Kanalbrücken über Bäche und zu niedrige Thäler und die unterirdischen Kanalstrecken zur Verminderung der Baukosten nur so breit gemacht, dass gerade ein Schiff durchkommen kann. In allen diesen Fällen ist die Schiffahrt beschwerlicher und langsamer, als auf den übrigen breitern Kanalstrecken.

§. 369.

Die Eisenwege sind von allen diesen Beschwerlichkeiten nicht nur frei, sondern sie gewähren auch noch viele Vortheile, die von Kanälen nicht zu erhalten sind, nämlich:

1tens. Ist schon oben bei der Beweglichkeit des Wassers angeführt worden, dass die Frachtwägen auf Eisenschienen durch das ganze Jahr fahren können, weder von dem Frost des Winters, noch von der Trockniss des Sommers aufgehalten werden, und dass selbst die vorfallenden Reparaturen ohne Hinderniss für die Frachtwägen hergestellt werden können.

2tens. Die Frachtwägen auf Eisengeleisen brauchen bergab gar keine Zugpferde, sondern nur einen Mann zur Besorgung der Bremse; dagegen müssen die Kanalschiffe sowohl bergauf als bergab von den Pferden gezogen werden, weil der horizontale Stand des Wassers nicht gestattet, die Kraft der Schwere zur Beförderung des Transportes zu benützen. In Gegenden, wo die Beschaffenheit der Gebirge erlaubt, dem Wege eine solche Steigung zu geben, dass die auf horizontalen Strecken nöthige Zugkraft dadurch nur höchstens verdoppelt wird, ist dieser Vortheil so wichtig, dass die ganzen Vorspannkosten hierdurch wieder zurückersetzt werden, weil bei der Rückfahrt eben so viele Pferde erspart werden, als für die Fahrt bergauf vorzuspannen nöthig waren. Dagegen kann der Aufenthalt in Schleussen durch nichts ersetzt werden.

3tens. Zur Bedienung des Kanalschiffes sind nebst dem Zugpferde noch zwei oder drei Personen nöthig, wovon eine das Zugpferd, die übrigen das Schiff zu leiten haben. Bei der Landfracht wird die Leitung des Wagens schon vom Geleise besorgt und es ist nur eine Person für etliche Wägen zur Besorgung der Pferde nöthig, welche dann auch bergab mehrere Wägen anhalten kann, wenn dieselben zusammengehängt und durch Hebel und Gewichte gebremset werden.

4tens. Weil die Zugpferde vor den Frachtwägen auf der Mitte der Strasse gehen, so braucht die Anlage der Eisenwege nur einen schmalen Strich Landes und diesen nur von geringerem Werthe, weil Strassen am besten über trockene und magere Gründe geleget werden. Dagegen fordern die Schiffahrtskanäle theils zur Verminderung des Widerstandes vom Wasser, theils auch für die flachen Böschungen der Ufer und für die Pferdsteige neben dem Kanale eine sechs- bis zehnmal grössere Breite, wodurch die Grundablösung kostbarer und der fruchtbringende Boden für die Landwirthschaft vermindert wird. Dieser Verlust ist um so bedeutender, als die Kanäle des Wassers wegen immer über die niedrigsten und fruchtbarsten Feld- und Wiesengründe geführt werden. Durch eine sehr mässige ökonomische Rechnung lässt sich zeigen, dass in Fällen, wo die jährliche Fracht nicht über eine Million Zentner beträgt, auf den unfruchtbar gemachten Kanalgründen mehr Feldfrüchte und Futterkräuter wachsen würden, als an die gesammten darüber gehenden Zugpferde verfüttert werden.

5tens. Die geringere Breite der Eisenwege macht ihre Baukosten in demselben Verhältnisse kleiner. Diese Bemerkung trifft vorzüglich die kostbarsten Werke des Kanalbaues, nämlich die Brückenwasserleitungen, welche für die Pferdsteige neben dem Kanal und wegen Wasserhältigkeit der Ufer wenigstens die doppelte Breite der Eisenwege nöthig haben und desshalb auch doppelte Baukosten verursachen.

6tens. In Betreff der Schleussen ist schon bemerkt worden, dass die Kosten bei den Eisenwägen ganz entfallen. Dasselbe gilt auch von allen übrigen Bauwerken, welche bei Kanälen nur des Wassers wegen gemacht werden, nämlich von Sammlungsteichen (Reservoirs), Zuleitungsgräben, Ablösung des Wassers, Uibersetzung der bestehenden Mühlwerke u. dgl. Auch die häufigen kleinen Brücken für die durchschnittenen Landwege sind bei Eisenwegen überflüssig, weil die Eisenschienen nur eine unbedeutende Vorrichtung erfordern, indem der zwischen beiden Geleisen ausgefüllte Pferdesteig Festigkeit genug besitzt, um gewöhnliche Landfuhren darüber gehen zu lassen, welches der ausgegrabene Wasserkanal nicht gestattet.

7tens. Kleine Anhöhen, wodurch die Beschwerlichkeit des Zuges auf Eisengeleisen nur um den dritten Theil oder um die Hälfte der nöthigen Zugkraft vermehrt und von der entgegengesetzten Seite wieder vermindert wird, brauchen hier gar nicht in Anschlag zu kommen; weil die Zugpferde für eine kurze Zeit um diesen Betrag mehr angestrengt werden können, wenn sie dagegen wieder eine eben so grosse Erleichterung zur Erholung erhalten. Bei den Bergwerksmaschinen, von welchen die Bestimmung der Pferdekraft abgeleitet worden, ist derselbe Fall vorhanden. Hierdurch kann der Weg in ebenen Gegenden oft beträchtlich abgekürzt, die Fahrt beschleunigt und der Bauaufwand vermindert werden. Im Gegentheile ist man bei Kanälen des hori-

zontalen Wasserstandes wegen genöthigt, alle solche Anhöhen mit beträchtlichen Kosten entweder zu durchgraben oder zu umgehen.

Aus diesen angeführten Vergleichungen erhellet, dass die Bausumme für einen Schiffahrtskanal wenigstens dreimal höher steigen müsse als für eine Eisenbahn, welches auch von der Erfahrung bestättigt wird. Eine genaue Bestimmung, wie hoch eine Klafter Eisenbahn und eine Klafter Schiffahrtskanal zu stehen komme, lässt sich ganz und gar nicht angeben. Der Kanal des Herzogs von *Bridgewater* bei *Manchester* von 40 engl. Meilen Länge kostete nach Seite 510 an 280000 *Liv. st.*, während die Eisenbahn zwischen *Manchester* und *Liverpool* von 30¾ engl. Meilen Länge nach Seite 634, I. Band schon im October 1829 über 600000 *Liv. st.* Auslagen verursachte. Laut dem später öffentlich erschienenen Berichte des Kassiers *Booth* dieser Unternehmung: *An Account of the Liverpool and Manchester Railway etc. by Henry Booth, treasurer to the Company, Liverpool* 1831, beliefen sich die Gesammtauslagen bis zum 31ten Mai 1830 schon auf 739165 *Liv. st.* 5 *sh.* 0 *d.* und man berechnete im Juni 1830, dass zur Ausführung dieser Unternehmung im Ganzen 820000 *Liv. st.* erfordert werden, welche Summe aber gewiss noch überschritten wird. In diesem Falle hat daher eine Klafter Eisenbahn beiläufig 4 mal so viel, als eine Klafter Kanal gekostet, allein die Ursache liegt bloss in der Besiegung aller Lokalhindernisse, welche das Terrain der Eisenbahn darboth, während bei dem Kanale an Baukosten weit mehr gespart wurde. Wir haben im Gegentheile im I. Bande dieses Werkes die Baukosten mehrerer Eisenbahnen angeführt, welche weit geringer als die Anlagskosten der Kanäle waren. Demnach lässt sich die Frage, ob der Bau eines Kanales, einer Eisenbahn oder selbst nur einer Landstrasse vorzuziehen sey, keineswegs allgemein beantworten, indem hierüber bloss die nach den Lokalumständen zu verfassenden Uiberschläge und die Grösse des Frachtquantums, auf dessen Transport man mit Sicherheit rechnen kann, entscheiden.

Es gibt aber noch andere Rücksichten, welche zuweilen bei Anlegung der Kanäle genommen werden. Der römische Feldherr *Drusus* hat in Holland von seinen Soldaten die *Yssel* graben lassen, um die nördlichen deutschen Provinzen mit mehr Vortheil bekriegen zu können. Der Kanal von *Languedoc* in Frankreich ist nicht so sehr der Handlung wegen, als vielmehr zur Erleichterung der Kriege gegen Spanien erbaut worden. Die meisten Kanäle in den Niederlanden und der Lombardei sind hauptsächlich zur Entwässerung der Ländereien angelegt und werden für den Handlungsverkehr nur gelegenheitlich benützt. Der *Caledonian*kanal in England wurde mit solchen Maassen angelegt, um Fregatten von 32 Kanonen zu tragen und zur Zeit eines Seekrieges benützt werden zu können. Andere Kanäle z. B. der *Forth-* und *Clyde*kanal dienen vorzüglich dazu, Seeschiffe aus einem Meere in das andere zu bringen, ohne einen gefährlichen Umweg zurücklegen zu müssen. Solche Rücksichten werden immer für die Anlage eines Kanales entscheiden.

Obgleich die Eisenbahnen kurze Zeit nach der Unternehmung der Kanäle in England, ebenfalls daselbst eingeführt wurden, so hat doch die Vorliebe der Engländer für das Seewesen und die Schiffahrt, den Kanälen die grösste Ausdehnung gegeben. Man findet in England leichter Matrosen und Schiffe, als Fuhrleute und Frachtwägen

und begreift daher, warum die Erfindung der Eisenbahnen daselbst beinahe ein halbes Jahrhundert in ihrer Kindheit blieb und erst in den letzten 5 bis 10 Jahren einen vorzüglichen Grad der Vollkommenheit erreicht hat.

Die Bewohner des Festlandes von Europa dürften sich bei der gegenwärtigen Vervollkommnung der Eisenbahnen darüber trösten, dass ihnen die Natur zu Schiffahrtskanälen nicht dieselbe Gelegenheit gegeben hat, wie dem niedrigen Küstenlande, und man ist gegenwärtig zu der Uiberzeugung gelangt, dass es zu einem vortheilhaften Kommerze nicht unumgänglich nothwendig sey, das feste trockene Land gegen seine Natur in Wasserland umzuschaffen und des horizontalen Wasserstandes wegen mit ungeheuern Kosten Berge zu durchgraben und tiefe Thäler und Flüsse mit Brücken zu überspannen, um Schiffe über Mastbäume hinwegsegeln zu sehen. Solche Schauspiele, die gegenwärtig als Denkmäler der Kunst des Zeitalters betrachtet werden, dürften sich keine längere Dauer als die römischen Wasserleitungen zu versprechen haben; weil die Nachwelt bei einer Veränderung der Umstände zur Uiberzeugung kommt, dass der Vortheil, den solche Bauwerke gewähren, nicht mehr der Unterhaltungskosten werth ist, sonach dieselben dem Verfall überlassen werden müssen. Bei dem Stande der heutigen Aufklärung kann nur die allgemeine Nützlichkeit einer Unternehmung über ihre Ausführung entscheiden, es mag diess nun ein Kanal, eine Eisenbahn, oder ein anderes Bauwerk seyn.

Wir schliessen diesen Band mit dem lebhaften Wunsche, dass unsern Lesern die Gelegenheit dargeboten werden möchte, wohlerwogene, gemeinnützliche Unternehmungen in ihrem Vaterlande zur Ausführung zu bringen und dass sie in unserer Beschreibung der englischen Kanäle Anhaltspunkte für die Begründung ähnlicher Bauten finden möchten.

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

(Ende des zweiten Bandes.)

Druckfehler.

Seite	Zeile	statt	soll stehen
9	8. v. unten	16 Zoll	10 Zoll
12	10. v. unten	3 Fuss Zoll	3 Fuss 6 Zoll
23	8. v. oben	Fig. 31	Fig. 4
23	8. v. unten	84,50	82,50
31	17. v. oben	Q—Q'	Q'—Q
49	4. v. unten	Kolumne IV	Kolumne XIV
54	5. v. unten	0,8957	0,8954
65	8. v. unten	bezeichnet man	bezeichnet m n
83	6. v. oben	L J'	L J
109	7. v. unten Kol. 8	19,00	19,73
110	3. v. unten Kol. 7	73,25	73,275
115	5. v. oben	5,02	4,96
121	15. v. oben	J B C K	I B C K
121	17. v. unten	Gussrohr bei R	Gussrohr
123	7. v. oben	das Ende des Kolbens	das Ende des Kolbenrohres
126	11. v. unten	A D	E O
128	10. v. oben	Höhe in B	Höhe in J
138	5. v. unten	geleitet wird	gelangt
139	19. v. oben		(an der Seite) Fig. 7
167	23. v. oben	7^{h} $48^{Min.}$	6^{h} $59^{Min.}$ $50^{Sek.}$
171	11. v. unten	102 Kanäle	103 Kanäle
177	10. v. unten	56,4 p . l . v	p . l . v
189	6. v. oben Kol. 4	0,015952	0,005952
209	2. v. oben	2,9	2 . 2,9
209	3. v. oben	4,1	2 . 4,1
336	20. v. oben	C = 3,5 Fuss	c = 3,5 Fuss
341	12. v. oben	1183,5	1183,6
392	13. v. oben	c = 108,70	c = 106,9
393	13. v. oben	$56{,}4\,\mu \cdot W \cdot \frac{a}{2c}\left(\frac{c^2 - v^2}{v^2}\right)$	$56{,}4\,\mu \cdot W \cdot \frac{A}{b} \cdot \frac{a}{2c}\left(\frac{c^2 - v^2}{v^2}\right)$
400	12. v. oben	$56{,}4\,\frac{a}{b} \cdot \mu \cdot W$	$56{,}4\,\frac{A}{b} \cdot \mu \cdot W$
409	16. v. oben	äussere Durchmesser desselben	Durchmesser des Theilrisses
445	14 v. oben	10 Zoll dicken	8 Zoll dicken
447	9. v. unten	eisernen	eichenen
484	13. v. oben	16,54 Fuss	16,53 Fuss
488	7. v. unten	auf die Richtung desselben in der	winkelrecht auf die Richtung seiner
498	11. v. unten	150 Fuss	130 Fuss

Sc

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Gerstner, Franz Joseph <<von>>,

Handbuch der Mechanik

Bd.: 2

Prag ; Wien 1832

4 Math.a. 120 f-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10052869-9